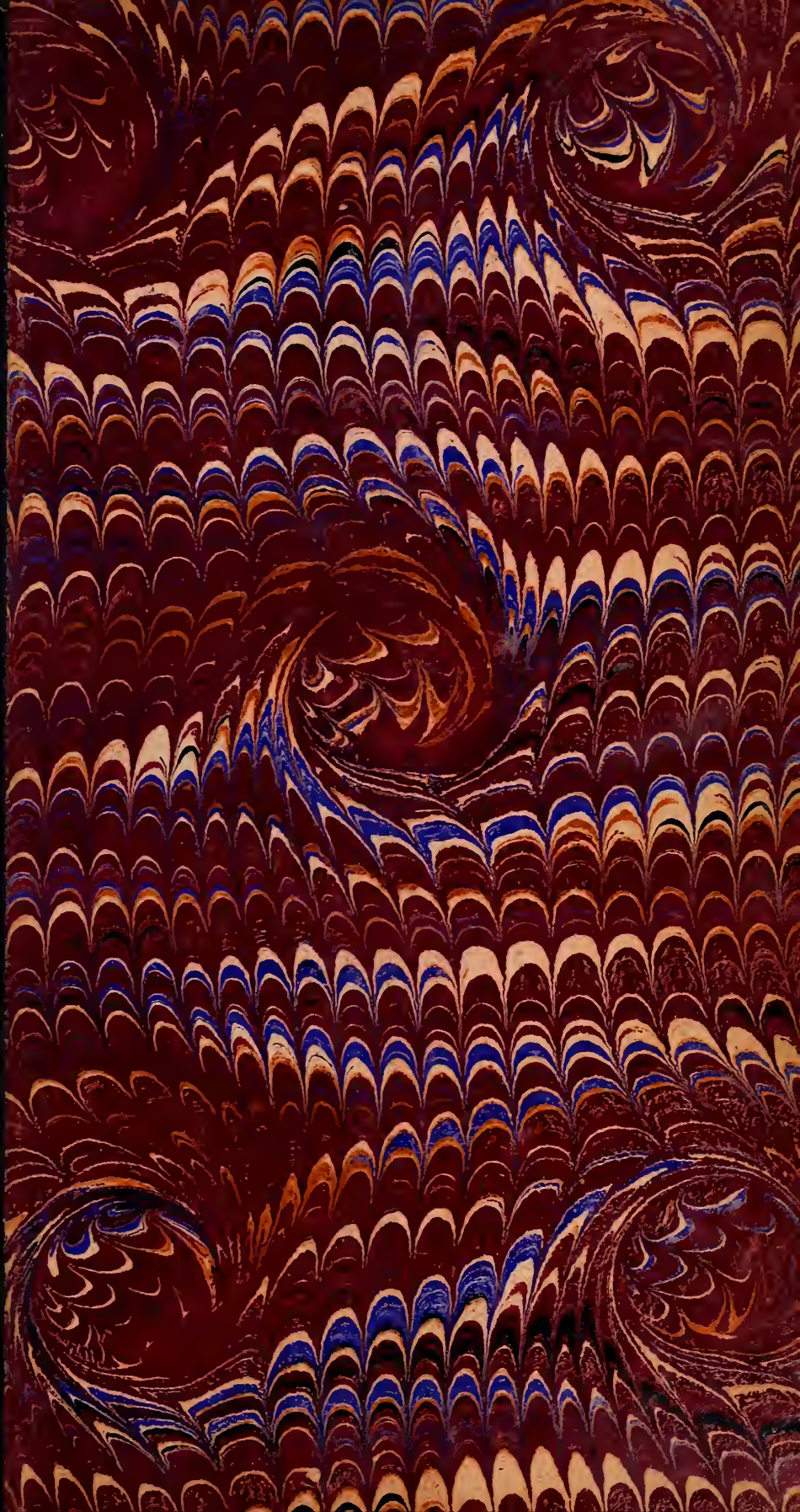


5.06 (09.3) 31
28

Q56
.R47
*

FOR THE PEOPLE
FOR EDVCATION
FOR SCIENCE

LIBRARY
OF
THE AMERICAN MUSEUM
OF
NATURAL HISTORY

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE

PAR LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

Nulla unquam inter fidem et rationem
vera dissensio esse potest.
Const. de Fid. cath., c. IV.

TROISIÈME SÉRIE

TOME VII — 20 JANVIER 1905

(VINGT-NEUVIÈME ANNÉE; TOME LVII DE LA COLLECTION)

LOUVAIN
SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE
(**M. J. Thirion**)
11, RUE DES RÉCOLLETS, 11

1905

08. ชีวิต170 ชลยุง

LE FEU CENTRAL [1]

Le problème du feu central est d'origine relativement récente. Pendant l'antiquité et même le moyen âge, on s'est fort peu soucié de la constitution interne du globe, que l'on tenait pour analogue à la constitution de l'écorce. Les phénomènes volcaniques, qui ne pouvaient manquer de frapper vivement l'esprit des anciens, reçurent d'abord une explication mythologique : Vulcain et les Cyclopes avaient dans l'Etna leurs forges gigantesques ; Pluton et les divinités infernales avaient la haute main sur toutes les fournaises naturelles. Les philosophes, Anaxagore, Empédocle, Héraclite, Aristote, plus tard Sénèque et Pline, et à leur suite les philosophes du moyen âge recoururent pour expliquer le volcanisme à l'hypothèse des quatre éléments. Le feu, l'air et l'eau, enfermés dans le sein de la terre, s'y livraient des combats furieux dont le fracas ébranlait les régions environnantes, y produisant dans les cas graves les éruptions paroxysmales, dans les cas bénins les tremblements de terre. Il faut arriver à Descartes pour rencontrer une conception vraiment scientifique du problème.

Étudiant la constitution du monde solaire, le fondateur de la cosmogonie moderne fut amené à émettre l'opinion que la terre était un soleil éteint encroûté par refroidissement (2).

(1) Conférence faite à Mons, à l'assemblée générale de la Société scientifique, le 27 octobre 1904.

(2) *Principes de Philosophie*, éd. 1, 1644.

Sténon (1), le P. Athanase Kircher (2), Leibniz (3), adoptèrent, du moins partiellement, et développèrent les idées de Descartes. Newton (4), en calculant l'aplatissement de la terre, fit voir que sa valeur correspondait à la notion d'une fluidité primitive du globe, et l'hypothèse du feu central fut admise dans le temple de la science.

Non pas universellement cependant : il se trouva toute une école, l'école neptunienne (5), pour soutenir que la terre ferme était réellement sortie du sein des eaux, dans lesquelles ses éléments auraient été dissous. Le dernier neptunien a depuis longtemps disparu : mais il s'en faut de beaucoup que l'hypothèse du feu central n'ait plus d'adversaires, il en reste un bon nombre, dont quelques-uns fort solidement armés. Depuis Descartes cependant on peut dire que la majorité s'est prononcée en faveur de l'existence du feu central. La terre, astre déchu, après une courte existence d'étoile aurait subi, dans la suite des temps, un refroidissement qui finit par déterminer à sa surface l'établissement d'une croûte solide continue. A l'origine, continuellement rompue et remaniée, cette écorce acquit bientôt une épaisseur lui permettant de résister à peu près partout. Un certain nombre de points faibles, sans doute le long des grandes fractures, subsistent cependant : ce sont les volcans, sortes de soupapes de sûreté, mettant en communication avec le dehors la masse du noyau restée incandescente.

Telle est la thèse. On invoque en sa faveur bon nombre de faits expérimentaux que nous allons passer en revue.

Le premier consiste dans la figure du globe : la terre n'est pas une sphère parfaite. C'est un sphéroïde aplati aux deux extrémités de l'axe autour duquel il tourne. On

(1) *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus*, 1669.
(2) *Mundus subterraneus*, 1664.
(3) *Protogäa*, 1653.
(4) *Princip. mathem.*, 1687.
(5) A la suite de Werner.

a mesuré depuis longtemps la longueur d'un degré de latitude au voisinage de l'équateur (1) et au voisinage du pôle (2).

La combinaison des mesures d'arcs du méridien les plus dignes de confiance fait admettre un aplatissement d'environ $\frac{1}{292}$ (3). Le calcul montre que c'est la figure que prendrait sous l'influence de la rotation diurne, une masse fluide de même volume et de même densité moyenne que la terre, la gravité étant considérée, suivant Newton, comme une force élémentaire. Dès lors il semblera bien rationnel d'admettre que la terre a réellement passé par un état de fluidité dont l'aplatissement polaire est une trace.

Une seconde donnée expérimentale précieuse consiste dans la valeur de la densité moyenne de la terre. La densité moyenne est le rapport de la masse au volume : la figure de la terre et ses dimensions étant connues, on calculera cette densité dès que l'on connaîtra la masse. On peut, pour déterminer celle-ci, se servir de divers appareils : le pendule, la balance de torsion ou même la balance normale de précision. Ce dernier mode d'expérimentation est dû à Ph. von Jolly, de Munich, qui se servit dans ce but d'une balance dont chaque bras portait deux plateaux superposés distants de 21 mètres.

Une masse pesante équilibrée à l'étage supérieur de la balance accuse, quand on la descend à l'étage inférieur, une augmentation de poids due à ce qu'elle s'est rapprochée du centre de la terre. Cinq kilogrammes de mercure accusent, dans les conditions où s'est placé M. von Jolly, une augmentation de 31 mg. environ. Si l'on vient alors à placer sous le plateau inférieur une lourde sphère de

(1) Bouguer et La Condamine à Quito, en 1735.

(2) Maupertuis et Clairaut en Laponie, en 1736.

(3) Si l'on désigne par a et b le demi-grand axe et le demi-petit axe du sphéroïde terrestre, on appelle aplatissement de la terre la valeur du rapport $\frac{a-b}{a}$.

plomb de poids connu, dont l'attraction s'ajoute à celle de la terre, on doit constater, si la balance est suffisamment sensible, un nouvel accroissement de poids. On a les éléments du calcul et l'on obtient, la densité de l'eau étant 1, la valeur 5,6 environ pour la densité moyenne de la terre. Ce chiffre concorde sensiblement avec ceux que fournissent les autres méthodes (1). Or la densité de la croûte est 3, tout au plus ; 5,6 représente la densité moyenne de l'ensemble ; il faut donc que les matériaux du centre soient notablement plus lourds : il y a, dans une certaine mesure (2), superposition par ordre de densités décroissantes en allant du centre vers la surface, ce qui amène encore à conclure à une fluidité initiale. Mais cette fluidité est-elle réellement une fluidité ignée ? Les faits qui vont suivre éclaireront singulièrement la question.

On sait depuis 1802 (3) que la température des couches profondes du sol est notablement plus élevée que la température de la surface. Les nombreuses observations faites depuis lors dans toutes les régions du globe, à part quelques exceptions presque toujours attribuables à un manque de précautions des observateurs (4), mènent à la

(1) Voici les principales valeurs obtenues :

Cavendish	5,45	(balance de torsion)
Cornu et Baille	5,50	»
»	5,56	»
Ph. von Jolly	5,692 ± 0,068	(balance normale)
J. Wilsing	5,577	(pendule)
J. H. Poynting	5,4954	(balance normale)
C. V. Boys	5,527	(balance de torsion)
C. Braun	5,527 ± 0,0014	» »
Richarz et Krigar Menzel	5,505 ± 0,009	(balance normale)

Cf. Richarz et Krigar Menzel, *Gravitations Constante und mittlere Dichtigkeit der Erde, bestimmt durch Wagung*, ABHANDL. DER PREUSS. AKAD. DER WISSENSCHAFTEN, 1898.

(2) D'après des calculs de M. Roche, la densité moyenne de l'écorce serait 2,1, au milieu du rayon 8,5 et au centre 10,6. Les chiffres correspondants donnés par Legendre et Laplace sont respectivement 2,5, 8,5 et 10,6. Cf. également F. M. Stapff, *Ueber die Zunahme der Dichtigkeit der Erde nach ihrem Innern*, GERLANDS BEITRAEGE ZUR GEOPHYSIK, II, 1894.

(3) d'Aubuisson, à Freiberg.

(4) Exemple de Sperenberg. — Cf. Heinrich, NEUES JAHRBUCH, 1876, p. 716, et 1878, p. 897.

loi suivante : la température s'élève, relativement à celle du sol, d'un degré à mesure qu'on s'enfonce d'une certaine profondeur, généralement comprise entre 30 et 35 mètres. On appelle cette longueur *degré géothermique*. Bien qu'il ne s'agisse pas ici d'une donnée rigoureusement constante (on a observé des degrés de 15 mètres, d'autres de 100 mètres), on se trouve en présence d'un fait général : partout la température croît avec la profondeur, et, si l'on tient compte des différences de conductibilité des terrains traversés, on voit que l'augmentation est remarquablement uniforme.

Les observations faites dans les mines ont été confirmées par celles que permit le percement des grands tunnels, le Saint-Gothard, l'Arlberg, le Mont Cenis et plus récemment le Simplon.

De plus, des sondages ont été entrepris en Allemagne dans un but scientifique : à Sperenberg, à 41 km. S. de Berlin, on a atteint 1269 m. ; le degré géothermique fut trouvé de 32,50 m. A Schladebach, près Leipzig, on poussa jusque 1748 m. ; le degré géothermique fut de 35,7 m. Enfin à Paruschowitz (haute Silésie), le sondage fut mené à 2003 mètres et donna un degré géothermique de 34 m.

Jusqu'à deux kilomètres de la surface, la température va donc croissant : la question se pose aussitôt de savoir jusqu'à quelle limite persiste cet accroissement.

Les volcans vont nous fournir à ce sujet des indications précieuses.

L'expulsion des laves à très haute température n'indique, il est vrai, pas autre chose que la présence dans un étroit voisinage du cratère, d'un foyer profond, suffisamment chaud pour amener à fusion tous les matériaux expulsés. Si l'on considère isolément chaque volcan, on doit s'en tenir strictement à cette conclusion. Il en va tout autrement si l'on envisage la répartition géographique

des foyers volcaniques, actifs ou éteints à une époque relativement récente.

Si nous jetons les yeux sur un planisphère où seraient marqués d'un point rouge ces foyers, ou mieux si, après avoir percé d'un trou d'aiguille à l'endroit de chaque cratère, un planisphère imprimé sur papier fort, nous l'interposons entre notre œil et la lumière, un trait nous frappe immédiatement : l'océan Pacifique est entouré d'un véritable cercle lumineux, au nord, le Kamchatka, les îles Aléoutiennes et l'Alaska ; à l'est, l'immense chaîne des Cordillères américaines; à l'ouest, les Kouriles, le Japon, les îles Mariannes, la Malaisie et la Nouvelle-Guinée ; au sud, les îles Salomon, la Mélanésie, la Polynésie et la Nouvelle-Zélande.

Au centre de cette couronne incandescente, les volcans des îles Sandwich, des îles Galapagos, et sans doute de nombreux volcans sous-marins, car la drague, traînée sur le fond du Pacifique, ramène presque toujours des débris de laves et de scories.

Allons-nous songer à pourvoir chacun de ces cratères d'un foyer indépendant et isolé, plutôt que d'admettre l'existence d'un vaste réservoir courant sous tout le Pacifique dont il alimente les bouches éruptives ? Autant vaudrait, dit très justement M. de Lapparent (1), doter ainsi chacun des cratères adventifs de l'Etna pouvant entrer en éruption conjointement avec le cône principal.

Or, de l'Islande aux Açores, l'Atlantique présente la même disposition, de même l'océan Indien, de même encore le sillon méditerranéen (au sens géologique du terme), avec les volcans des Antilles, de la Sicile, de l'Italie, de l'Archipel, du Caucase, de l'Arménie et des îles de la Sonde : si bien que nous ne pouvons nous soustraire à l'idée que cette nappe incandescente, existant en tant de points divers et sur d'aussi vastes étendues, doit être con-

(1) *Traité de Géologie*, 4e édit. Paris, 1900, p. 550.

tinue et se trouver partout sous l'écorce, à une profondeur que l'on peut approximativement déduire de la valeur du degré géothermique.

Ce résultat est indépendant de toute théorie, et partant inattaquable ; mais au delà de ce point nous entrons dans le domaine de l'hypothèse.

Les premières hypothèses auxquelles nous avons affaire en l'espèce sont les hypothèses cosmogoniques. Bien qu'on en ait émis un bon nombre, on peut dire qu'aujourd'hui les astronomes sont à peu près unanimes à chercher l'origine du système solaire dans une nébuleuse initiale, un vaste amas de matière cosmique extrêmement subtile, très peu dense et occupant un immense espace.

Laplace (1), dont l'hypothèse a joui longtemps d'un tel crédit qu'on l'a souvent considérée comme un fait scientifiquement établi, supposait cette nébuleuse incandescente et douée d'un mouvement de rotation. Les modernes sont plus audacieux : appuyés sur la thermodynamique ils font partir l'évolution du monde d'une nébuleuse originairement froide et obscure, dans laquelle une concentration progressive aurait, en vertu des frottements et des chocs moléculaires, développé une chaleur suffisante pour la rendre peu à peu lumineuse et incandescente (2).

Quelle que soit celle des hypothèses cosmogoniques que l'on adopte, on ne peut se dispenser d'admettre, dans la formation des planètes aussi bien que des étoiles, l'existence d'une phase pendant laquelle la température était suffisamment élevée pour dépasser notablement celle de

(1) *Exposition du Système du monde*, éd. I, 1796, note VII.

(2) Faye, *Sur l'Origine du monde*, théories cosmogoniques des anciens et des modernes. Paris, 1896 ; Wolf, *Les Hypothèses cosmogoniques*. Paris, 1886 : Vte R. du Ligondès, *La Formation mécanique du Système du monde*. Paris, 1897. — On consultera sur ce sujet les articles suivants : Ch. de Kirwan, *La Nouvelle Théorie cosmogonique de M. Faye*, REVUE DES QUEST. SC., XVII, 94 ; l'abbé Th. Moreux, *Progrès récents de la Cosmogonie*, IBID., XLI, 459, et Ern. Pasquier, *Les Hypothèses cosmogoniques*, REVUE NÉO-SCOLASTIQUE, 1898.

notre soleil actuel. Nous n'en demandons pas davantage aux astronomes.

Mais de ce que la terre ait été autrefois incandescente, il ne suit nullement qu'elle le soit restée, et la science moderne nous offre, en effet, cinq ou six versions différentes de la suite de l'histoire du globe.

Ce sont les mathématiciens qui ont inauguré les attaques contre l'hypothèse du feu central. Will. Hopkins (1), se fondant sur les phénomènes astronomiques de la précession et de la nutation, soutint le premier que la terre devait être solide jusqu'à une grande profondeur.

Poisson et Ampère (2) émirent l'idée que le globe terrestre, ne se déformant pas sous l'attraction de la lune et du soleil, ne subissant pas de marées internes, ne pouvait être liquide à l'intérieur.

Will. Thomson (actuellement Lord Kelvyn) développa cette idée dans plusieurs travaux importants (3), montrant que la déformation subie par le globe terrestre sous l'influence des attractions qui produisent les marées est de même ordre que si la terre possédait la rigidité de l'acier !

De même G. Darwin (4), appliquant au même problème le raisonnement mathématique, considère comme inadmissible l'existence d'un noyau fluide sous l'écorce terrestre. Celui-ci concède cependant que la nutation seule est incompatible avec l'hypothèse d'un globe fluide à l'intérieur.

Sans entrer dans le détail des arguments de ces savants,

(1) PHIL. TRANSACT. Londres, 1839, II ; 1840, I ; 1842, I.

(2) COMPTES RENDUS DE L'ACAD. DES SC., 1868, vol. LXVI, p. 455.

(3) Will. Thomson, PROCEEDING OF THE ROYAL SOCIETY, L, 1862-1863 ; *On the secular Cooling of the Earth*, TRANS. ROY. SOC. EDIMBURG, XXIII, 1864 ; *The internal Condition of the Earth, as to temperature fluidity and rigidity*, TRANS. GEOL. SOC. GLASGOW, 1879.

(4) *On the Precession of a Viscous Spheroid*, PHIL. MAG., CLXX. — Voir aussi G. H. Darwin, PHIL. TRANS., 1880, vol. CLXX, et Woodsworth, *On the Evidence that the Earth's interior is solid*, AMERICAN NATURALIST, 1884.

remarquons cependant que leurs opinions sont combattues par des mathématiciens. M. Woodward a fait observer (1) qu'il est fort raisonnable d'admettre que la terre, tout en montrant un certain degré de plasticité vis-à-vis de forces permanentes et de direction constante, peut fort bien se comporter à peu de chose près comme solide, vis-à-vis d'efforts de courte durée et de sens variable (2). Un mathématicien scandinave, M. Dahlbom (3), vient d'ailleurs de calculer que la pression subie par le noyau terrestre, quel que soit son état physique, rend absolument négligeable l'attraction tendant à produire des marées (4). On nous permettra bien de penser avec M. de Lapparent, dans son *Traité de Géologie* (5), que tous ces calculs ont « le tort grave d'appliquer à une matière essentiellement complexe, le raisonnement mathématique qui ne convient absolument qu'aux problèmes simples ». L'introduction des mathématiques en l'espèce est au moins prématurée, et il y a lieu de n'accueillir qu'avec une prudente défiance les résultats obtenus par cette voie, lorsqu'ils vont à l'encontre d'opinions basées sur l'expérience.

Ces considérations s'appliquent parfaitement à la solution présentée par M. E. Roche, dont les calculs tendent à faire admettre que la valeur de l'aplatissement actuellement adoptée ne peut s'expliquer dans l'hypothèse

(1) R. S. Woodward, *Mathematical theories of the Earth*, Am. Journal, XXXVIII, 1889.

(2) Cf. Penck, *Morphologie der Erdoberfläche*, I, p. 448.

(3) T. Dahlbom, *Ebb-och flodfenomenet jordsferoidens plasticitet samt landets högning och sänkning*, Geol. För., i Stockholm, Förh. XX, 170-182, 1898.

(4) M. Lipschitz a calculé qu'à une profondeur égale à un dixième du rayon, la pression atteint 425 000 atmosphères; à une profondeur égale à deux dixièmes du rayon, la pression est de 1 040 000 atmosphères. — Cf. à ce sujet J. Hann, *Die Erde als Ganzes*. Vienne, Tempsky, 1896, p. 50.

(5) Paris, 1900, I, p. 539.

d'un noyau liquide (1). Il faut d'après lui considérer la terre comme solide, à l'exception d'une couche plus ou moins complètement fluide séparant l'écorce d'un noyau solidifié. Cette objection s'ajoute aux précédentes, tirées de la nutation, de la précession, et de l'absence de marées. Les travaux de MM. Dahlbom, R. Woodward, Delaunay, Champagneur ont éliminé ces dernières. M. Radau, dans son étude sur la constitution intérieure de la terre (2) établit que la nouvelle venue n'est pas plus décisive.

On serait tenté de croire que les phénomènes volcaniques doivent gêner fortement les partisans d'un globe solide, et que parmi les géologues il ne s'est trouvé personne pour admettre ces théories. On a cependant vu paraître plusieurs essais d'explications du volcanisme complètement indépendantes de l'hypothèse du feu central.

Sans parler de l'explication d'Agricola (3), de Pallas (4), de Werner qui voyaient dans l'incendie de vastes gisements de houille la cause des éruptions volcaniques, ou des hypothèses chimiques de Gay-Lussac (5), Davy (6 et Sterry Hunt (7), il convient de dire quelques mots des hypothèses mécaniques dont les promoteurs sont Volger, Constant Prévost, Mohr et plus récemment Robert Mallet (8) auquel se rallie un éminent géologue allemand, E. Reyer (9).

Voici en quoi elles consistent : le globe, quoique solidifié entièrement, se refroidit encore, et partant se contracte. Des écrasements se produisent à la périphérie, accomplissant un travail énorme, dégageant une chaleur

(1) *Mémoire sur l'état intérieur du globe terrestre*, MÉM. DE L'ACAD. DES SCIENCES ET LETTRES DE MONTPELLIER, sect. des sciences, t. X, 1881.
(2) Paris, Gauthier-Villars, 1880.
(3) *De ortu subterraneo*, II.
(4) Pallas, *Voyage*.
(5) ANN. CHIM., XXII, p. 45.
(6) Davy, PHIL. TRANS., 1828.
(7) Sterry Hunt, *Chemical and Geological Essays*.
(8) TRANS. OF THE ROY. SOCIETY, L., 1872 ; PHIL. TRANS., 1875.
(9) *Theoretische Geologie*, Stuttgart, 1888.

intense, suffisante pour produire la liquéfaction des éléments les plus réfractaires : les éruptions volcaniques consistent en l'expulsion de produits dont l'échauffement est dû à une cause purement mécanique et locale.

Les objections ne manquent pas. D'abord, on voit des régions très fortement plissées, dans lesquelles ne se rencontrent ni volcans ni formations éruptives : les régions alpines, par exemple.

De plus, la constance de composition chimique des laves et des produits volcaniques s'accommode mal, on en conviendra, d'une origine aussi locale : on ne voit pas bien, d'ailleurs, l'origine des produits accessoires des éruptions, l'hydrogène, les hydrocarbures, les chlorures, l'acide borique, et nombre d'autres. Enfin, on rencontre des coulées de laves, comme celle de 1783 en Islande, dont le volume est tel qu'il faudrait supposer, pour combler le vide dû à sa disparition, un affaissement de trente mètres sur mille kilomètres carrés (1). C'est plus de raisons qu'il n'en faut pour nous faire rejeter les théories mécaniques du volcanisme.

Dans ces derniers temps une nouvelle hypothèse a été émise au sujet de la constitution du globe et du mécanisme des éruptions par M. Stübel (2), auquel une grande expérience des phénomènes volcaniques donne une autorité fort considérable. Pour lui, la terre est entourée d'une croûte épaisse, cuirasse plutôt qu'écorce équivalant à la cinquième partie du rayon, et dans laquelle existeraient des foyers périphériques sans aucune dépendance entre eux et complètement séparés du noyau.

(1) A. de Lapparent, *Traité de Géologie*, p. 559.

(2) *Die Vulkanberge von Ecuador, geologisch topographisch aufgenommen.* Berlin, Asscher, 1897. Résumé par W. Prinz, BULL. DE LA SOC. BELGE DE GÉOL., t. XIV, 1902 ; W. Prinz, *La Genèse et la Structure de l'Écorce du globe d'après Stübel.* IBID., t. XVI, 1902 ; Alphons Stübel, *Ein Wort über den Sitz der vulkanischen Kräfte in der Gegenwart* MITTH. A. D. MUS. FÜR VÖLKERKUNDE zu Leipzig, Abth. f. Länderkunde, 1901. Cf. Bergeat, NEUES JAHRBUCH, 1902, pp. 42-44.

On peut admettre l'existence de ces foyers plus ou moins isolés dans l'écorce solide (1), bien qu'il ne paraisse nullement que cette manière de concevoir les choses soit une conséquence rigoureuse des faits établis par l'observation des volcans. Mais il en est tout autrement de la grande épaisseur assignée à l'écorce. Cette conception n'est en effet compatible ni avec les données fournies par les astronomes, ni avec les faits géologiques. Partout où existe de l'archéen authentique, on observe des dislocations effroyables, contemporaines de sa formation.

L'archéen de Finlande, disloqué et injecté en tous sens, par exemple, supporte du cambrien demeuré horizontal depuis lors. Jamais pareille chose n'eût pu se produire si à l'époque archéenne il y avait eu déjà entre l'écorce et le noyau incandescent, l'énorme cuirasse que suppose M. Stübel (2). Ajoutons que « la thèse Stübel ne tient guère compte que comme de phénomènes locaux et plutôt négligeables des étroites relations qui paraissent s'établir nettement et de plus en plus intenses entre la sismicité et les dislocations de l'écorce terrestre, relations qui s'imposent comme un élément primordial qu'il est impossible de négliger (3) ».

Il faut bien conclure de l'étude de toutes ces théories que l'opinion de Descartes sur le feu central n'a fait que se préciser et acquérir plus de vraisemblance jusqu'à nos jours (4). Dans l'état actuel de nos connaissances, il n'y a guère moyen de se soustraire à l'idée que l'écorce solide sur laquelle nous vivons n'est qu'une pellicule mince formée

(1) Cf. A. de Lapparent, *L'Éruption de la Martinique*, REVUE DES QUEST. SCIENTIF., janvier 1903.

(2) A. de Lapparent, cité par E. Van den Broeck, BULL. SOC. BELGE DE GÉOLOGIE, t. XVII, 1903, procès-verbaux, p. 33.

(3) E. Van den Broeck, *Nouvelle théorie de l'explosion volcanique basée sur la combinaison des vues de M. O. Van Erlborn avec les expériences et théories de MM. A. Gautier et A. Brun et avec la théorie de M. Stübel*, IBID., p. 33.

(4) Cf. Tarla, *Verschiedene Ansichten über das Innere der Erde*, analysé dans NEUES JAHRBUCH, 1901, II, p. 44. Vienne, Toula, 1893.

par le refroidissement superficiel d'une masse fluide qu'elle recouvre.

Nous disons à dessein « fluide » et non liquide, car en ces derniers temps s'est élevé au sujet de la liquidité de l'intérieur de la terre un doute qui paraît solidement appuyé. A. Ritter (1) et, après lui, Zöppritz (2), S. Günther (3) et Penck (4) tiennent pour hautement probable que la masse dont il s'agit est en grande partie gazeuse.

On sait que les gaz même parfaits peuvent être liquéfiés par compression pourvu que leur température ne dépasse pas un certain point, le point critique, au delà duquel la pression devient absolument impuissante. On a de bonnes raisons d'admettre que l'accroissement de température que l'on a observé jusqu'à deux mille mètres sous terre se continue beaucoup plus profondément, et l'on calcule qu'à 60 km. environ de la surface, la température est telle que les minéraux les plus réfractaires sont fondus. On a coutume de s'arrêter là, et si ce n'est à tort il faut bien dire que c'est sans raison. Dès lors à une certaine distance de la zone liquide on atteindra la température de volatilisation des silicates, qui arriveraient à leur température critique à une profondeur d'environ 300 km. (5). Au delà doit se rencontrer une zone où la température de dissociation elle-même est atteinte et où non seulement il n'y a plus de liquides possibles mais plus même de molécules. Les atomes sont isolés, on a un gaz mono-atomique.

Pratiquement d'ailleurs la pression qui règne dans cet

(1) *Untersuchungen über die Höhe der Atmosphäre und die Konstitution gasförmiger Weltkörper*, WIEDEMANS ANNALEN, 1878-1880; *Anwendung der mechanischen Wärmetheorie auf kosmologische Probleme*. Hannover, 1879.

(2) *Ueber die mittel und Wege zur besseren Kenntnis des Erdinnern zu gelangen*, VERHANDL. I. DEUTSCH GEOGRAPHENTAGES, 1882.

(3) *Die Entwickelung der Lehre vom gasförmigen Erdinnern*, XIV, JAHRESBER. DER GEOGR. GESELLSCHAFT. München, 1890-1891.

(4) *Morphologie der Erdoberfläche*, I. 441.

(5) Svante Arrhenius, *Zur Physik des Vulkanismus*, GEOL. FÖR., i Stockholm, Förh. XXII, 395-419, 1900. Cf. NEUES JAHRBUCH, 1901, II, p. 370.

intérieur atteint une valeur tellement élevée, que l'ensemble doit se comporter à peu près comme un solide. Le frottement interne annihile à peu près la fluidité, tandis que la compressibilité diminue jusqu'à devenir inversement proportionnelle à la pression. M. Arrhenius, auquel nous empruntons ces considérations, a calculé qu'à 1000 km. de profondeur, l'isopentane aurait à peu près la même compressibilité que l'acier.

Un fait expérimental est apporté par M. Arrhenius en faveur de sa théorie. Les fortes secousses sismiques se transmettent au loin par deux ondes, dont l'une chemine avec une vitesse de 3 à 6 km., l'autre avec une vitesse de 11 kilomètres. La première se propage dans l'écorce solide dont on assimile la compressibilité à celle du quartz. Partant de là, on trouve que la seconde doit se propager dans un milieu dont la compressibilité est 31 fois moindre, c'est-à-dire 8 fois moindre que celle de l'acier : ce que faisait prévoir la théorie (1).

Les faits géologiques sont aussi bien compatibles avec cette nouvelle théorie qu'avec l'hypothèse de la liquidité du noyau.

Quel que soit celui des deux modes de fluidité que l'on veuille adopter, on peut reconstituer d'une manière fort satisfaisante le tableau des phases successives de l'évolution du globe : reportons-nous à l'origine que les astronomes assignent à notre planète, et parcourons rapidement l'histoire de ses premiers âges.

Détachée de la nébuleuse primitive, la terre, sous forme d'une sphère gazeuse aplatie et extrêmement dilatée, vient de parcourir pour la première fois son orbite : elle se condense progressivement, engendrant ainsi une chaleur intense qui compense la perte due au rayonnement. Mais cette condensation se ralentit à mesure qu'elle s'effectue, la chaleur fournie ne suffit bientôt plus à réparer les pertes,

(1) S. Arrhenius, *loc. cit.*

et la terre se refroidit. La température diminuant, les minéraux les plus réfractaires, les silicates se liquéfient, formant une enveloppe liquide au-dessus de laquelle persiste une atmosphère encore extrêmement chaude. La terre est à ce moment un astre brillant, une petite étoile, un soleil en miniature.

Mais son éclat est de courte durée : des scories se forment çà et là, qui ternissent peu à peu sa lumière, et augmentant d'instant en instant d'étendue, viennent à se réunir en une croûte opaque continue dont l'établissement marque la déchéance de l'étoile. Parfois, dans les premiers temps, la croûte, mince encore, se rompt largement, permettant à l'astre mourant de jeter un dernier éclat par une vaste effusion de matières incandescentes.

Mais le froid des espaces célestes fait son œuvre, et voilà que notre planète est enfermée dans une croûte pierreuse, rudiment de l'écorce actuelle.

Cette croûte, conduisant fort mal la chaleur, vient former écran entre l'atmosphère et l'océan de feu qu'elle recouvre : la température baisse plus rapidement, et bientôt viennent s'abattre en pluies torrentielles et corrosives sur le sol primitif, les éléments volatils qui, avec toute l'eau des océans, constituaient la première atmosphère. Des mers se forment, dont les eaux chaudes et chargées de principes chimiques actifs attaquent et modifient la croûte terrestre. Mais en même temps leur nocivité s'épuise, et voici bientôt que ces mers bouillantes s'attiédissent et que leurs eaux deviennent inoffensives : la terre est sortie de l'enfance, la vie peut en prendre possession.

Devant cette magnifique évolution de notre monde, on se sent pénétré d'une admiration profonde, à laquelle se mêle tout d'abord une certaine mélancolie : l'homme se sent « perdu comme un point dans cette immensité splendide » (1) à laquelle il est supérieur cependant car il

(1) Sainte-Beuve commentant Pascal.

pense. Il y a, au-dessus de ces merveilles du monde créé, l'intelligence et la pensée. Et, dit un illustre astronome français (1), comme notre intelligence ne s'est pas faite « elle-même, il doit exister dans le monde une intelligence supérieure à la nôtre d'où la nôtre dérive ». Dès lors, plus l'idée qu'on se fera de cette intelligence sera grande, plus elle approchera de la vérité. Nous ne risquons pas de nous tromper en la considérant comme l'auteur de toutes choses, en reportant à elle ces splendeurs qui ont éveillé notre pensée, en croyant que nous ne lui sommes ni étrangers ni indifférents, et finalement nous voilà tout préparés à comprendre et à accepter la formule traditionnelle : « Dieu, Père tout-puissant, Créateur du ciel et de la terre ».

F. Kaisin.

(1) H. Faye, de l'Institut, *Sur l'Origine du monde*, 3e édit. Paris, 1896, p. 3.

LES SOURDES-AVEUGLES

Si nous parlons au féminin, dans le titre qui précède, ce n'est pas que les femmes seules soient exposées à la double infirmité de la surdité et de la cécité, mais il se trouve que les trois personnes les plus intéressantes qui en ont été frappées appartiennent au sexe féminin. Laura Bridgman, la première en date parmi elles, est citée dans tous les traités de psychologie, et son éducateur, le Dr Howe, s'est acquis une gloire immortelle. La mort l'a atteinte, mais aujourd'hui deux infirmes analogues attirent particulièrement l'attention, Miss Helen Keller, jeune Américaine qui a publié elle-même son autobiographie (1), et Mlle Marie Heurtin, élevée au couvent de Larnay, près Poitiers, par les Sœurs de la Sagesse (2). Il nous a semblé qu'il y aurait quelque intérêt à rapprocher les renseignements relatifs à ces trois sujets, diversement mais également intéressants. La Sœur Sainte-Marguerite, éducatrice de Marie Heurtin, a bien voulu nous fournir des détails complémentaires, et Miss Keller nous a fait adresser également quelques renseignements qui nous paraissaient manquer dans son ouvrage : qu'elles veuillent bien agréer toutes deux nos plus vifs remerciements.

(1) *Histoire de ma vie : Sourde, Muette, Aveugle*, traduction française par A. Huzard ; un vol. in-18 de la collection « Femina ».

(2) *Une âme en prison*, par Louis Arnould ; une brochure in 8°, 3e édition, chez Oudin, 1904. Signalons, vers la fin de cet opuscule, un catalogue des principaux sourds-aveugles connus. — Voir aussi *Marie Heurtin*, article de M. P. Félix Thomas dans la REVUE DE PARIS de janvier 1901.

Antécédents des sujets. — Marie Heurtin, née le 13 avril 1885, est seule sourde-muette et aveugle de naissance.

Laura Bridgman, née le 21 décembre 1829, commençait, à deux ans, à parler, quand une fièvre scarlatine grave lui fit perdre la vue, l'ouïe et, en grande partie, l'odorat (1).

Quant à Hélène Keller, née le 27 juin 1880, c'est à dix-neuf mois qu'elle perdit l'ouïe et la vue à la suite d'une maladie qu'elle définit de façon assez vague : « Le médecin diagnostiqua une congestion aiguë de l'estomac et du cerveau et déclara que je n'y survivrais pas. »

Il semble que, perdus de si bonne heure, les sens de l'ouïe et de la vue n'ont dû laisser aucune trace appréciable, et que tous nos sujets sont assimilables à des infirmes de naissance. On sait que, de façon générale, les personnes devenues aveugles avant quatre ou cinq ans ne conservent aucune image visuelle ; à plus forte raison, pensons-nous, l'ouïe perdue à deux ans ne doit laisser aucun souvenir ni aucune aptitude durable à parler, surtout si l'on ne s'applique pas immédiatement à conserver et à développer les acquisitions antérieures. Hélène Keller, qui cherche constamment à s'exprimer comme une voyante, se figure avoir conservé des images visuelles, tout en se demandant si elle a réellement des souvenirs de sa maladie et des temps antérieurs. « Pendant les premiers dix-neuf mois de ma vie, dit-elle, j'avais eu l'impression d'étendues vastes et verdoyantes, de ciel lumineux, d'arbres et de fleurs, et l'obscurité qui suivit ne pouvait balayer entièrement ces souvenirs de mon esprit. »

Quant à Laura Bridgman, le Dr Howe dit formelle-

(1) Au sujet de Laura Bridgman nous avons consulté, dans la Revue Philosophique : un court article du Dr Howe, traduit du Journal of Mental Science (t. I, p. 401) ; une analyse développée, par Ribot, d'un livre de l'institutrice (t. VII, p. 316) ; et une analyse d'un article de Stanley Hall, publié dans le Mind (t. VII, p. 588).

ment qu'elle n'avait conservé aucun souvenir de ses deux premières années, et nous croyons bien que cette absence de souvenirs doive être une règle générale.

Avant l'éducation. — De deux à huit ans, Laura vécut dans sa famille, où elle apprit à tricoter, coudre et faire divers travaux de ménage, mais sans recevoir aucune instruction et sans jouir d'amusements quelconques. Toutefois un vieil ami la promenait et lui apprenait à recueillir les œufs dans la basse-cour. « Il me commanda, dit-elle, de ne pas enlever à la poule son dernier œuf, par un geste que je compris clairement, quoique je n'en connusse pas la raison. »

Marie Heurtin, fille d'un tonnelier de Vertou (Loire-Inférieure), était refusée par les institutions des sourdes-muettes parce qu'aveugle, par celles d'aveugles parce que sourde-muette. Elle fut cependant admise dans deux établissements. Son entrée dans l'un d'eux fut marquée par une scène de désespoir : durant une heure et demie, elle tint ses bras noués autour du cou de son parrain qui l'y avait conduite. Dans le second, on commit une terrible méprise, car, en présence de la clarté de ses yeux, on déclara qu'elle voyait fort bien mais était idiote et qu'il fallait la mettre dans un asile d'aliénés.

Nous aurions désiré savoir sous quelle forme se réalisait la pensée durant toute cette période, et, sans grand espoir de succès, nous avons prié la Sœur Sainte-Marguerite d'interroger sur ce point son élève. Nous n'avons obtenu qu'une indication sur ce qu'étaient ces pensées, qui du reste peuvent répondre à de simples images des objets. « Je pensais peu, dit Marie Heurtin. J'étais comme une petite bête, je ne pensais qu'à manger, à boire, à m'amuser avec mes petites sœurs. Je pensais à mes parents quand je ne les sentais pas près de moi. Je les aimais à la façon du petit chien qui aime celui qui le nourrit. »

Hélène Keller se montre plus ouverte à la pensée, et, bien qu'il faille se défier de son imagination, elle a

montré par la suite une telle activité intellectuelle que ce qu'elle dit ici n'a rien d'invraisemblable. « J'étais la plupart du temps dans les bras de ma mère ou pendue à ses jupes, tandis qu'elle vaquait à ses occupations domestiques. De la main, j'étudiais tous les objets, et je m'attachais à observer tous les mouvements autour de moi... Je ne tardai pas à éprouver le besoin de communiquer avec les autres, et je commençai, dès lors, à m'exprimer à l'aide d'une mimique très simple. Je secouais la tête pour dire « non », je l'inclinais pour dire « oui ». Le geste d'attirer vers moi signifiait « venez », le geste de repousser « allez-vous-en ». Si je voulais que ma mère fît une crème glacée pour le dîner, je faisais le geste de manœuvrer le congélateur, puis je me mettais à frissonner pour exprimer l'idée du froid. » De même elle arrivait à comprendre les désirs de sa mère.

Voici maintenant un détail bien intéressant : « Je ne saurais aujourd'hui, dit Hélène Keller, fixer l'époque où je m'aperçus, pour la première fois, que je différais des autres : je m'en étais rendu compte, cependant, avant l'arrivée de mon institutrice. J'avais remarqué que ma mère et mes amis ne s'exprimaient pas comme moi par signes. Quelquefois il m'arrivait de me placer entre deux personnages qui conversaient, et de poser mes doigts sur leurs lèvres ; c'est ainsi que je compris qu'ils avaient, pour échanger des idées, un moyen qui m'était inconnu. J'étais très affectée de ne pouvoir les comprendre. Je me mettais alors, moi aussi, à remuer les lèvres, et je gesticulais avec une sorte de frénésie, sans obtenir, hélas ! le résultat désiré. Ces insuccès provoquaient en moi de telles colères que je frappais du pied avec rage et poussais des cris perçants jusqu'à complet épuisement (1). »

Une sorte de conscience morale s'éveillait en elle : « Quand j'étais méchante, dit-elle, j'en avais conscience,

(1) Page 10.

je crois ; je savais bien, par exemple, qu'en donnant des coups de pied à Ella, ma bonne, je lui faisais mal et, lorsque mon accès de colère était passé, j'éprouvais comme un remords (1). »

Quelque réduction qu'il soit prudent de faire subir aux récits de Miss Keller, on ne saurait douter qu'il existait en elle des pensées avant l'usage d'un langage proprement dit, et la déclaration si réservée de Marie Heurtin témoigne aussi de ce fait, si conforme du reste à la thèse soutenue par Preyer dans son célèbre ouvrage sur l'*Ame de l'enfant*. Mais quelle est la forme de cette pensée? Voilà l'obsédante question qu'on désirerait tant résoudre ; malheureusement il ne semble pas qu'on puisse compter pour cela sur Hélène Keller. C'est du moins ce que nous a déclaré M. John A. Macy, chargé par elle de nous répondre : « A cette question, dit-il, aucune réponse ne paraît possible, bien qu'elle ait fait l'objet de mainte spéculation du professeur Royce de Harvard, qui a posé à Miss Keller des questions tendant à l'élucidation de ce problème. Toute tentative pour exprimer par des mots les idées qui ont précédé le temps où les mots ont été acquis se détruit évidemment elle-même. Miss Keller ne peut le dire : il n'y a aucun souvenir de ce temps-là (2) ! Le sujet paraît échapper à toute solution par une méthode *à posteriori* ».

Première instruction. — Placée à l'Institution des Aveugles de Boston, Laura Bridgman fut instruite selon la méthode du Dr Howe, qui en était le directeur. On lui apprit d'abord à lire. Les noms des objets usuels étant imprimés en caractères saillants, on lui fit promener sur ces mots les doigts de la main droite (3) ; en même temps,

(1) Même page.

(2) Déclaration surprenante, avec les citations précédentes ; en voici le texte même : « Miss Keller cannot say, and then was no record at the time! »

(3) C'est l'application de l'idée de Diderot : « Peut-être acquerraient-ils des idées (les sourds-aveugles) si l'on se faisait entendre à eux dès l'enfance

de la main gauche elle touchait l'objet désigné. Telle est du moins l'assertion de Miss Lampson, son institutrice ; mais le Dr Howe dit que c'est au moyen de la dactylologie qu'on lui fit sentir les mots. La contradiction est assez piquante, car précisément Miss Lampson critique comme une erreur le fait d'apprendre d'abord à *lire*, alors qu'on habitue avant tout les enfants à *parler* : ne faut-il pas de même apprendre d'abord au sourd-muet à épeler le nom des objets avec ses doigts avant de lui apprendre à lire ? Cette idée, dit-elle, fut appliquée à un jeune aveugle sourd-muet, Olivier Caswell. Miss Lampson lui fit former avec les doigts les lettres *k*, *e*, *y*, en lui faisant toucher une clé. Il se prêta d'un air ennuyé à cette opération répétée ; mais au quatrième mot, *table*, « sa figure devint rayonnante. Il me fit parcourir rapidement la chambre, mettant la main sur divers objets et me les faisant épeler avec mes doigts. Une demi-heure avait suffi pour lui donner une idée qui avait demandé quatre mois à Lucy Read et près de trois mois à Laura. »

Le récit que fait Hélène Keller de ses premières leçons est bien vivant, comme du reste une bonne partie de son livre. « Miss Sullivan (l'institutrice) me mena dans sa chambre et me donna une poupée. Elle m'était offerte par les petits aveugles de la « Perkins Institution », et Laura Bridgman elle-même l'avait habillée, mais je ne sus cela que plus tard. Quand je m'en fus amusée quelque temps, mon institutrice me prit la main et, lentement, y traça les caractères du mot *p-o-u-p-é-e*. Le jeu tout de suite m'intéressa, et j'essayai de l'imiter. Quand j'eus enfin réussi à écrire les lettres correctement, je me sentis inondée de joie et de vanité enfantine. Je descendis l'escalier en courant pour aller répéter l'expérience avec ma mère et, dans sa main, je traçais les lettres que je venais d'ap-

d'une manière fixe, déterminée, constante et uniforme; en un mot, si on leur traçait sur la main les mêmes caractères que nous traçons sur le papier » *(Lettres sur les Aveugles)*.

prendre. Je ne savais certes pas que j'écrivais là un mot. Savais-je d'ailleurs ce que c'était qu'un mot ? Je n'étais mue que par un simple esprit d'imitation. Les jours suivants j'appris à décomposer par le même procédé un certain nombre d'autres mots, tels que *épingle*, *chapeau*, *tasse*, et quelques verbes *s'asseoir*, *se lever*, *marcher*. Je ne compris cependant que quelques semaines plus tard les rapports entre les mots et les choses (1). »

Cette dernière phrase fixe la portée de ce qui précède. Voici maintenant le récit de la découverte de ces rapports. « Nous descendîmes le sentier qui menait au puits, attirées par le parfum épandu dans l'air ambiant par le chèvrefeuille qui formait un dôme au-dessus du puits. Quelqu'un était précisément occupé à tirer de l'eau, et mon institutrice me plaça la main sous le jet du seau qu'on vidait. Tandis que je goûtais la sensation de cette eau fraîche, miss Sullivan traça dans ma main restée libre le mot *eau*, d'abord lentement, puis plus vite. Je restais immobile, toute mon attention concentrée sur les mouvements de ses doigts. Soudain il me vint un souvenir imprécis comme de quelque chose depuis longtemps oublié et, d'un seul coup, le mystère du langage me fut révélé... J'appris ce même jour beaucoup de mots nouveaux. Je ne me les rappelle pas tous, mais il y avait entre autres les mots *mère*, *père*, *sœur*, *institutrice*, mots qui me pénétraient de sentiments très doux, inconnus jusque-là. Il eût été difficile de trouver une enfant plus heureuse que moi quand, en m'étendant dans mon petit lit, le soir de cette mémorable journée, je récapitulai les joies qu'elle m'avait données. Chose qui ne m'était pas encore arrivée, je m'endormis impatiente du lendemain. »

On a remarqué que Hélène Keller, malgré la vivacité de son esprit, a eu besoin de plusieurs semaines pour arriver au résultat qu'Olivier Caswell aurait obtenu en

(1) Pages 25 et 26.

une demi-heure, d'après Miss Lampson. A vrai dire, un tel succès nous paraît bien surprenant avec l'emploi d'une écriture alphabétique. Il serait beaucoup plus vraisemblable avec un langage symbolique ou idéographique, comme celui qu'emploient d'abord les religieuses de Larnay.

L'éducation de Marie Heurtin apparaissait devoir être peu facile. Quand elle se sentit abandonnée par les siens, elle entra dans une rage qui ne cessa guère, pendant deux mois : c'était une agitation effrayante, torsions et roulements sur le sol, coups de poings appliqués sur la terre, la seule chose qu'elle pût facilement toucher ; le tout accompagné d'affreux aboiements et de cris de désespoir. Chaque fois que ses mains pouvaient attraper une personne de son entourage, elle tâtait aussitôt la tête, et si, au lieu du béguin des autres sourdes-muettes, elle rencontrait la coiffe rigide d'une religieuse, elle entrait dans une nouvelle colère.

Certes le terrain était beaucoup moins bien préparé que chez Hélène Keller. Voici comment s'y prit la Sœur Sainte-Marguerite. Remarquant que Marie avait une particulière affection pour un petit couteau de poche apporté de chez elle, elle le lui prit. Marie se fâcha. Elle le lui rendit un instant et lui mit les mains l'une sur l'autre, l'une coupant l'autre, ce qui est le signe abrégé pour désigner un couteau chez les sourds-muets, puis elle lui reprit l'objet : l'enfant fut irritée, mais dès qu'elle eut l'idée de refaire elle-même le signe qui lui avait été appris, on lui rendit le couteau définitivement. Le premier pas était fait, et l'enfant apprit assez facilement à associer d'autres objets avec les signes correspondants. Au bout de peu de temps on en vint à ne rien préparer pour elle sur la table du réfectoire, et elle prit l'habitude de demander par signes ce qui lui était nécessaire (1).

(1) On trouvera reproduite dans *Une âme en prison* (p. 102) une lettre très intéressante de la Sœur Sainte-Médulle, qui fit l'éducation de Marthe Obrecht, autre sourde-aveugle élevée à Larnay ; cette lettre, adressée au

Langages complémentaires. — Marie Heurtin, ayant débuté par le langage mimique ou idéographique, dut naturellement apprendre le langage alphabétique de la dactylologie qui offre de plus grandes ressources. Toutes nos sourdes-aveugles ont d'ailleurs appris à lire les caractères ordinaires en relief ainsi que les caractères Braille qui se prêtent si bien à l'écriture.

Hélène Keller raconte comment on avait mis à sa disposition des morceaux de carton portant chacun des mots en relief, à l'aide desquels elle composait de petites phrases qu'elle posait sur des objets appropriés : ainsi, ayant mis sa poupée au lit, elle posait dessus les mots : *la — poupée — est — au — lit.*

Au point de vue de la communication avec les personnes non initiées à la dactylologie et à l'écriture Braille, Hélène Keller a eu recours au langage articulé et à la machine à écrire. Mais l'usage de la parole offre des difficultés exceptionnelles pour les sourds-aveugles, en raison du fait qu'ils ne peuvent connaître les paroles d'autrui qu'au moyen du toucher. Il résulte de ce fait, d'une façon permanente, le grave inconvénient que l'infirme doit toujours suivre les paroles en posant ses doigts sur les lèvres de l'interlocuteur (1). En outre, il lui est plus difficile qu'à un voyant d'arriver à bien prononcer. Aussi, malgré son ardeur, dont on peut voir la trace dans une lettre à Miss Sarah Fuller qui lui donnait des leçons de langage (2), il semble que Miss Keller n'ait obtenu que des résultats assez imparfaits.

Marie Heurtin a appris, elle aussi, à parler, mais on ne l'a pas poussée beaucoup dans cette voie, en raison de son caractère assez peu pratique. Elle a récemment

chanoine Duilhé de Saint-Projet, a été insérée par lui dans son *Apologie scientifique de la foi chrétienne.*

(1) Pour apprendre à parler il faut aussi se rendre compte de la position de la langue (p. 73).

(2) Page 203.

appris, en quarante minutes, à se servir de la machine à écrire. Elle se sert en outre de l'écriture anglaise et de l'écriture Ballu, écriture typographique en points ; mais l'écriture Braille reste la plus commode, toutes les fois qu'il s'agit de communiquer avec des initiés.

Une question intéressante est celle de savoir quel mode de langage devient le plus familier, ou mieux le plus naturel, et pour cela il semble que le mieux soit de s'adresser au langage intérieur et aux rêves. Laura Bridgman ne disposait, croyons-nous, que d'un langage, en sorte qu'elle n'avait pas de choix à faire, mais il est intéressant de noter que, d'après le Dr Lieber, elle tenait, étant seule, de longues conversations, parlant avec une main et répliquant avec l'autre. Toutefois Stanley Hall, qui l'a étudiée personnellement, affirme qu'on la voit quelquefois tout absorbée dans ses réflexions sans qu'il y ait le moindre mouvement de ses mains. Il dit d'ailleurs que ses rêves avaient lieu en langage tactile

Dans l'annexe sur la personnalité d'Hélène Keller, il est parlé de sa mémoire dactyle. En outre, M. Macy nous a écrit qu'elle se parle à elle-même et avec les lèvres et avec les doigts : l'observant quand elle pense ou écrit, il peut conjecturer sa pensée de façon assurée. Pour Marie Heurtin, il n'est question que de mouvements des doigts, mais il est intéressant de noter qu'elle emploie également la dactylologie et le langage symbolique ou mimique pour se parler à elle-même, ce qui semble indiquer qu'il n'y a pas eu adoption d'un mode de langage nettement préféré, mais choix du plus commode selon les circonstances. Toutefois Sœur Sainte-Marguerite estime que le langage mimique reste la langue maternelle, à laquelle on ne renonce qu'en cas d'insuffisance. Reproduisons à ce sujet les questions posées sur notre demande par cette Sœur et les réponses faites par Marie Heurtin et par une autre aveugle et sourde, Martlie Obrecht, née en 1865 et qui a été également élevée à Larnay.

Quand vous pensez à quelque chose, de quoi vous servez-vous ?

Réponse de Marthe Obrecht : « Je me sers dans ma pensée des mêmes signes que l'on m'a faits pour m'expliquer la chose à laquelle je pense. »

La réponse de Marie Heurtin est la même, mais elle dit de plus qu'elle pense souvent par la dactylologie, surtout quand elle écrit des devoirs classiques et quand il faut mettre la vraie orthographe des mots. Quand elle a lu une histoire, pour se la rappeler ensuite elle se sert des signes pour le fond de l'histoire et de la dactylologie pour se représenter les choses qui n'ont pas de signes propres, par exemple les noms des villes.

Où se manifestent les tendances au langage ?

Dans les doigts, qu'ils agissent ou qu'ils restent à l'état de repos (1).

Remuez-vous les doigts comme pour faire comprendre votre pensée à une personne ?

Réponse de Marthe : « Non, je ne remue pas les doigts quand je suis en présence de quelqu'un, mais quelquefois je me surprends à faire gestes et signes lorsque je suis seule. »

Réponse de Marie Heurtin : « Dans mon lit, en attendant le sommeil, bien souvent je réponds à ma pensée par signes. La personne qui couche près de moi est obligée parfois de m'avertir pour faire cesser mes gestes. »

Si vous ne remuez pas les doigts, sentez-vous quelque chose comme si vous alliez les remuer ?

Réponse de Marthe : « Oui, et je fais parfois de petits mouvements que je suis obligée de réprimer si je ne veux pas que l'on voie ma pensée. »

La maîtresse de Marie Heurtin dit à son sujet : « Quand

(1) On voit qu'ici est formellement affirmée l'existence de sensations d'innervation motrice sans mouvement apparent. Il est surprenant que Stanley Hall n'ait pas cherché à savoir s'il n'en était pas de même dans le cas de Laura Bridgman.

mon élève se croit seule et que c'est le moment de l'étude ou d'une lecture privée, elle s'arrête parfois pour faire ses réflexions sur ce qu'elle lit ; elle parle alors à sa pensée, on dirait vraiment qu'elle cause avec un être invisible. Elle est alors trop mignonne, tout son intérieur paraît sur son candide visage : elle fait des gestes du corps, légers mouvements de la tête, des yeux, des mains. Quand je la surprends dans ces moments-là, après l'avoir bien étudiée et avoir cherché à deviner sa pensée, je lui prends la main et elle rougit d'avoir été vue. »

Comme il y a, à Larnay, des sourdes non aveugles qui font un usage courant de la parole, nous avions demandé si elles pensent avec les organes de la parole, et la Sœur Sainte-Marguerite nous a répondu qu'en rêvant elles parlent souvent et qu'on comprend très bien ce qu'elles disent.

Quant à nos aveugles, elles déclarent toutes deux qu'elles ne rêvaient pas avant leur venue à Larnay, et Marthe Obrecht ajoute qu'elle fait des signes en rêvant : « J'ai senti, quelquefois, dit-elle, que je disposais mes doigts pour dire oui et non, et je sentais dans mon rêve mes bras bien lourds ; il me semblait que je ne pouvais pas les remuer. »

On remarquera que, dans nos questions, nous n'avions pas fait de distinction entre la dactylologie et le langage symbolique : c'est qu'en effet ce sont les réponses à nos questions qui nous ont appris la continuation de l'usage de ce dernier langage chez les infirmes de Larnay.

Perception du monde extérieur. — Les sourdes-aveugles, une fois douées d'un moyen de communication avec les autres hommes, peuvent entrer en relation avec le monde extérieur dans des conditions bien supérieures à celles qui existaient antérieurement, et il est intéressant de se rendre compte des résultats auxquels elles peuvent arriver.

Laura Bridgman avait en grande partie perdu l'odorat et le goût, en sorte que le toucher était, pour ainsi dire,

son sens unique, et elle savait en tirer le meilleur parti, reconnaissant toutes choses très aisément : ses doigts étaient toujours en mouvement, comme les antennes de certains insectes. Elle appréciait très exactement les distances et même le temps, et elle faisait des dentelles très fines.

Marie Heurtin se montre adroite et nullement gênée pour se mouvoir dans le milieu habité par elle. Tous les jeudis matin, elle fait le ménage, sort toutes les chaises de l'appartement, les range avec symétrie dans le corridor, en ôte la poussière et les fait reluire très rapidement, puis les rentre dans la chambre, après l'avoir balayée, dans le même ordre et à leur même place sans se tromper jamais. Elle aide aussi ses compagnes à porter la soupe et les plats au moment des repas, et il est rare qu'elle fasse une maladresse (1).

M. Arnould nous la montre aussi circulant au milieu des métiers de l'atelier de lingerie et de chasublerie, tricotant des bas et faisant fort bien un châle au crochet. Il fait avec elle une partie de dominos, auxquels elle joue aussi vite et aussi sûrement qu'un voyant : non seulement elle ne se trompe pas quand elle place un domino, mais, après avoir palpé une fois son jeu, elle sait presque à coup sûr où se trouve le domino dont elle a besoin.

On trouvera quelques observations de même ordre dans un petit article de MM. Filhol et Peyrot inséré dans le Bulletin des Conférences et des Cours de la Faculté des lettres de Poitiers de juin 1904 (2). Nous y relèverons seulement un exercice de dessin de quelques objets familiers, exercice nouveau pour la jeune fille. Successivement furent reproduits, avec une assez grande régularité, les contours d'une médaille, d'un carnet, de la couverture

(1) *Une âme en prison*, p. 28.

(2) *La Perception de l'étendue chez une aveugle sourde-muette de naissance*. Cet article est reproduit dans la 3e édition de *Une âme en prison*.

d'un livre, etc. Le tracé d'une croix, dont les deux lignes perpendiculaires se coupaient assez exactement en leur milieu, parut particulièrement curieux. Un essai de représentation de la troisième dimension ne donne lieu à aucune observation méritant d'être relatée.

Marie Heurtin, à la différence de Laura Bridgman, est douée d'un odorat très fin. « Son odorat est si subtil, dit M. P. Félix Thomas, qu'il lui fait d'ordinaire reconnaître les personnes bien avant qu'elle ait eu le temps de les toucher. Il semble même que chacune ait pour elle une odeur particulière, un signe distinctif, comme chaque fleur a son parfum qui ne la trompe jamais. La prie-t-on, par exemple, de se rendre à l'ouvroir pour transmettre un avis à quelqu'une de ses compagnes : vivement elle se dirige vers la place habituelle occupée par son amie, et, si elle ne l'y trouve point, on la voit aussitôt qui s'arrête, tourne la tête lentement et cherche, en respirant, un indice qui la renseigne. Il est bien rare alors qu'elle cherche longtemps (1). »

Se trouvant dans la salle de classe, les fenêtres ouvertes, Marie Heurtin fit remarquer qu'il pleuvait, alors que personne ne l'avait remarqué, car il n'était tombé que quelques gouttes d'eau : un faible changement de température, la légère odeur des feuilles et de la terre mouillées, dit M. Thomas, l'avaient immédiatement prévenue. Le même écrivain nous montre que Marie Heurtin n'est pas restée étrangère aux perceptions esthétiques. « Le poli et le velouté des surfaces, dit-il, la souplesse des formes, la grâce des mouvements, l'harmonie et le rythme des lignes, la fraîcheur des objets l'impressionnent vivement et la charment. Elle aime à parcourir de la main les arabesques d'une broderie, et il est visible que son plaisir est un plaisir esthétique lorsqu'une rose entre les doigts, par exemple, elle en respire le parfum, tout en effleurant

(1) Revue de Paris du 1er janvier 1901.

lentement, comme une caresse, les pétales dont elle suit les contours. »

Avec Hélène Keller nous allons voir des merveilles, car elle a eu, dès qu'elle a eu conscience d'elle-même, la volonté d'égaler en toutes choses ceux qui voient et qui entendent ; sa volonté et son intelligence sont parvenues à des résultats étonnants, mais elle les gâte en s'exprimant comme si elle entendait et voyait réellement. Il y a, dans son livre, des descriptions puériles comme la suivante : « Aux premiers flocons (de neige) nous nous précipitâmes au dehors. Pendant des heures, on put les voir descendre majestueusement des hautes régions de l'atmosphère, puis, silencieusement, d'un mouvement très doux, se poser sur la campagne, nivelant la plaine. La nuit tomba sur toute cette blancheur. Le lendemain matin, l'aspect du paysage était entièrement modifié ; les routes avaient disparu ainsi que les bornes qui limitaient les champs. Un désert de neige s'étendait jusqu'aux limites de l'horizon. Les squelettes des arbres en émergeaient comme de blancs fantômes (1). » Arrêtons-nous : on voit suffisamment le défaut du genre. Mais à côté de cela il y a des pages très justes de ton, que l'on goûterait mieux, il est vrai, sans le voisinage compromettant qui incline au scepticisme. Oubliez celui-ci et lisez ce qui suit :

« Je n'étais encore qu'une petite fille quand j'appris à ramer et à nager et, en été, quand je séjourne à Wrentham, je passe, pour ainsi dire, ma vie sur l'eau. Rien ne m'amuse plus qu'une partie de canotage avec les amis qui viennent me voir. Je ne puis, naturellement, gouverner un bateau dans la perfection ; je laisse à quelque autre le soin de tenir la barre, tandis que je manœuvre l'aviron. Quelquefois, cependant, je dirige l'embarcation à la rame, sans faire usage du gouvernail. L'odeur des lis et des buissons qui bordent le rivage est alors mon seul guide,

(1) Pages 67 et 68.

et cette manière de gouverner est pour moi pleine de charmes. Je me sers d'avirons munis de bracelets de cuir qui leur font garder leur position entre les taquets, et je me rends compte, par la résistance de l'eau, de leur bon équilibre. De la même manière je sais si je descends le courant ou si je le remonte. J'aime à lutter contre le vent et la vague...

» Je vais m'exposer à faire rire de moi, en avouant que j'aime particulièrement le canotage au clair de lune. Je ne puis, il est vrai, la voir s'élever au-dessus des pins et la suivre tandis qu'elle escalade le ciel d'un mouvement gracieux, versant sa lumière sur notre voie liquide ; mais je sais qu'elle est là, et je ressens l'impression de sa douce blancheur. Quand, appuyée sur mes coussins, je laisse aller ma main au fil de l'eau, un petit poisson audacieux parfois glisse entre mes doigts, et souvent un nénuphar les frôle au passage. Il m'arrive aussi, au sortir d'une crique ou d'un canal étroit, d'éprouver, tout à coup, l'impression de l'espace, et je me sens comme enveloppée d'une tiédeur lumineuse. Vient-elle des arbres qui rayonneraient ainsi le soir la chaleur accumulée pendant le jour, vient-elle de l'eau elle-même ? je ne sais (1)... »

Supprimez une ou deux images visuelles, d'ailleurs assez discrètes, et la justesse sera parfaite.

Hélène Keller tricote, fait du crochet, joue aux échecs et aux cartes (celles-ci marquées de symboles de Braille) ; elle se plaît à jouer avec les enfants. Mais où l'usage du toucher apparaît caractéristique chez elle, c'est pour l'appréciation de la sculpture. Même en faisant la part de son style, son livre contient trop de témoignages à cet égard pour qu'on puisse douter de son intelligence de cet art. Voici d'abord une déclaration générale contenue dans l'*Histoire de ma vie* : « Les objets et les magasins d'objets d'art sont aussi pour moi dès sources de plaisir et d'inspi-

(1) Pages 146 et 147.

ration. Sans doute il semblera étrange qu'une main, que la vue ne guide pas, puisse percevoir dans un marbre froid la beauté et le sentiment artistique ; et cependant il est vrai que j'éprouve un plaisir réel à toucher des œuvres d'art. En suivant leurs lignes, en caressant leurs courbes, mes doigts perçoivent la pensée et l'émotion que l'artiste a voulu rendre. Je découvre sur le visage des dieux et des héros, les expressions du courage, de la haine, de l'amour, aussi nettement que sur les figures vivantes qu'il m'est permis d'étudier (1)... »

Puis ce sont des témoignages pris sur le vif de sa correspondance. Racontant ses visites à l'Exposition de Chicago en 1893, elle écrit : « Un gentleman français, dont je ne puis me rappeler le nom, m'a montré les grands bronzes de son pays. Je crois qu'ils m'ont causé plus de plaisir que toute autre chose à l'Exposition : ils étaient si parfaits, que j'avais l'illusion de les sentir vivre sous mes doigts (2). »

Une autre fois, elle raconte avec enchantement une visite au musée de Boston, où elle palpe surtout des moulages de statues antiques (3). Une des annexes rend témoignage de ce goût et de cette intelligence de la sculpture, et l'on n'est pas trop surpris de cette déclaration d'Hélène Keller : « J'en arrive à me demander quelquefois si la main ne perçoit pas mieux que les yeux les beautés de la sculpture. Je crois que la fuite rythmique des lignes est plus sensible au toucher qu'à la vue. Mais, quoi qu'il en soit, je sens battre le cœur des anciens Grecs dans leurs dieux et leurs déesses de marbre (4). »

On peut se demander si cette perception si vive des formes spatiales est accompagnée de l'idée géométrique de l'espace, et nous devons avouer que Miss Keller ne

(1) Page 156.
(2) Page 239.
(3) Page 255.
(4) Pages 157 et 158.

paraît pas spécialement douée pour la géométrie. Mais il faut remarquer d'abord que son inaptitude s'étendrait tout autant à l'arithmétique (1), en sorte que ce n'est pas l'espace qui est spécialement en cause, mais la science mathématique en général. De plus, il ne s'agit aucunement d'une incapacité véritable, mais d'un de ces défauts de goût et de facilité comme on en rencontre journellement chez les voyants. Elle écrit, le 29 mai 1898 : « Peut-être apprendrez-vous avec plaisir que j'ai résolu hier, sans secours étranger, trois problèmes de géométrie. » Toute son inaptitude à ce sujet se traduit dans cette phrase : « Il me semble, maintenant, que je réussirai à faire quelque chose en mathématiques, encore que je ne me rende pas bien compte de quelle utilité peuvent être des théorèmes tels que celui-ci : les droites qui joignent les extrémités de la base d'un triangle isocèle au milieu des côtés opposés sont égales. Cette connaissance ne fait pas la vie plus douce et plus heureuse, n'est-ce pas (2) ? » C'est à peu près l'état d'âme de M. Brunetière ; ce n'est en rien la radicale impuissance à concevoir l'espace que certains fanatiques de la vue attribuent aux aveugles (3).

Éducation intellectuelle. — Nous venons d'être amené à parler de l'instruction mathématique. Comme on l'a vu, Hélène Keller est médiocrement douée à ce point de vue. Quant à nos deux autres sujets, ils n'ont été appelés à recevoir qu'une instruction relativement restreinte, spécialement à cet égard. Marie Heurtin, par exemple, sait faire des additions, des soustractions, des multiplications, ainsi que résoudre de petits problèmes très simples. D'une façon générale, son instruction reste

(1) Page 43. — Marie Heurtin aussi, nous l'avons vu, est sensible à la beauté de la forme ; elle fait glisser ses doigts avec complaisance le long des feuilles et des figures d'ornement. Elle apprécie la beauté des visages (pages 77 et 78).

(2) Page 253.

(3) Voir, par exemple, le Bulletin de la Société française de Philosophie de mars 1904.

élémentaire ; ce qu'elle paraît préférer, ce sont les leçons de choses usuelles et la géographie, qu'elle apprend sur des cartes piquées suivant la méthode Braille. Elle se montre d'ailleurs intelligente ; M. Félix Thomas constate qu'au point de vue de la puissance d'abstraction elle est certainement égale aux jeunes filles de son âge les mieux douées.

Avec Hélène Keller, on est en présence d'un sujet exceptionnel. Exceptionnel d'abord au point de vue de la situation de fortune, en ce sens que sa famille a pu donner libre carrière à sa soif d'apprendre, ce qui a dû exiger d'assez fortes dépenses ; exceptionnel ensuite par cette invincible volonté d'égaler en toutes choses ceux qui voient et entendent ; exceptionnel enfin par le fait d'être citoyenne de ces États-Unis où l'instruction supérieure des femmes est chose courante. Un coup d'œil sur l'histoire de ses études donnera bien l'impression qu'on est là au « pays de la vie intense ».

Nous avons vu qu'elle reçut sa première éducation d'une institutrice privée, Miss Sullivan, qui la suivit dans les divers établissements où elle alla ensuite. Vers l'âge de huit ans, elle fut conduite à la « Perkins Institution » de Boston, où elle fut si heureuse de se trouver au milieu d'une foule de petits aveugles avec lesquels elle pouvait converser au moyen de l'alphabet manuel ; mais ce n'était qu'une visite, et elle continua d'abord à ne recevoir que des leçons privées.

C'est à treize ans qu'elle commença à recevoir une instruction un peu spéciale. Déjà elle commençait à connaître le français et à pouvoir lire nos classiques, quand elle entreprit l'étude du latin, sous un maître, M. Irons, qui lui apprit en outre à lire au point de vue critique.

L'année suivante, elle entra à la « Wright-Humason School » de New-York, spécialement instituée pour enseigner aux muets l'usage de la parole et les exercer à lire sur les lèvres. En dehors de ce travail, elle se livra prin-

cipalement, pendant les deux années qu'elle passa à cette école, à l'étude de l'arithmétique, de la géographie physique, du français et de l'allemand. Au bout de quelques mois, elle comprenait presque tout ce que lui disait dans cette dernière langue son professeur, Miss Reamy, au moyen de l'alphabet manuel, et, avant la fin de la première année, elle lisait *Guillaume Tell* avec le plus grand plaisir.

Le français lui donna beaucoup plus de peine, sa maîtresse, une Française, ne connaissant pas l'alphabet manuel et l'instruisant de vive voix, ce qui obligeait Hélène Keller à suivre sur les lèvres, exercice où, comme sur celui de la parole, elle ne faisait que de lents progrès. L'arithmétique également lui causait des déboires, mais la géographie physique l'intéressait beaucoup.

Somme toute, elle se souvient avec plaisir de ces deux années passées à New-York, agrémentées par de nombreuses promenades.

Ayant conçu et déclaré, alors qu'elle était encore petite fille, la volonté d'aller à l'Université Harvard, elle entra, à seize ans, à l'école de jeunes filles de Cambridge afin de s'y préparer aux épreuves d'entrée à l'Université.

Miss Sullivan l'y accompagna, et c'était indispensable puisqu'il s'agissait de suivre des cours faits oralement, en sorte que l'institutrice devait lui traduire dans la main tout ce que disaient les maîtres (1) ; en outre, elle devait faire de même pour bien des livres que l'on n'obtenait pas en relief en temps utile. Longtemps Hélène Keller dut copier son latin en caractères Braille afin de pouvoir réciter ses leçons avec les autres élèves. C'était à la machine à écrire qu'elle faisait ses compositions et traductions. Cependant le principal, M. Gilman, apprit l'alpha-

(1) A Larnay, quand un prédicateur prêche, une religieuse mime les discours pour les yeux des sourdes-muettes, et les voisines de Marthe Obrecht et de Marie Heurtin le leur traduisent dans les mains (*Une âme en prison*, p. 31).

bet manuel et put lui enseigner la littérature anglaise mieux que par les explications succinctes données en classe.

A la fin de l'année scolaire, elle passa ses examens préliminaires pour « Radcliffe College », dépendant de Harvard ; elle présentait l'allemand élémentaire et supérieur, le français, le latin, l'anglais, le grec et l'histoire romaine. Elle fut reçue pour toutes les matières et félicitée pour l'allemand et l'anglais. Cette fois, on lui relut ses compositions, écrites à la machine ; mais à Radcliffe elle ne jouit pas de cette facilité, ce qui l'empêchait de corriger ses fautes, à moins de s'en souvenir, auquel cas elle ajoutait des notes au bas des pages.

La seconde année passée à Cambridge fut pénible. Le programme comportait surtout la physique, l'algèbre, la géométrie et l'astronomie. La plupart des livres en relief n'arrivèrent qu'en retard, et pour la première fois la chère main de Miss Sullivan ne fut pas à la hauteur de sa tâche.

Ne voyant pas les figures géométriques sur le tableau, Hélène Keller les reproduisait sur un coussin avec des fils de fer, puis elle devait noter dans sa mémoire les lettres des figures, les hypothèses et les constructions. On conçoit les difficultés présentées, dans ces conditions, par l'étude d'une science pour laquelle elle était peu douée. Enfin les livres en relief et les appareils nécessaires arrivèrent, et tout alla à peu près bien.

Mais Hélène se fatiguait, et M. Gilman fit les plus vives remontrances à Miss Sullivan, disant qu'elle surmenait son élève, qui devrait mettre plus de temps que les autres à préparer son entrée à Radcliffe. Hélène ne voulut pas admettre cela et quitta Cambridge, avec sa sœur Mildred qui était venue l'y rejoindre.

Elle travailla alors sous la direction de M. Keith, de Cambridge, qu'elle apprécia beaucoup, et elle n'eut plus à lutter contre les difficultés d'un enseignement non adapté à ses conditions spéciales. M. Keith avait d'ailleurs le

talent de lui faire trouver de l'intérêt même dans les mathématiques.

A la fin de l'année, elle subit les derniers examens pour « Radcliffe College ». Aucune autre facilité ne lui fut accordée que celle de recevoir les sujets de composition écrits en Braille ; mais une difficulté surgit : les signes et les symboles de géométrie et d'algèbre étaient en Braille américain alors qu'elle ne connaissait que ceux du Braille anglais, qui sont très différents. Ce n'est que la veille de l'épreuve qu'elle reçut une table de ces signes inconnus, et elle dut passer une partie de la nuit à les apprendre. Quoi qu'il en soit, Hélène Keller fut admise. Cependant elle eut la sagesse de suivre le conseil qu'on lui donna de consacrer une année à travailler avec M. Keith, et ce ne fut qu'en 1900, soit à vingt ans, qu'elle entra à Radcliffe.

C'est avec enthousiasme qu'elle fit cette entrée : « Devant moi je sentais palpiter un monde inconnu plein de beauté et de lumière, et dont je me savais capable de connaître et d'apprécier les merveilles. Dans ce monde féerique de l'esprit je serais aussi libre qu'une autre... Les salles de conférence me semblaient remplies du génie des grands hommes et des sages, et je croyais trouver dans les professeurs la personnification même de la sagesse (1). »

« Avouerai-je, ajoute-t-elle, qu'il m'a fallu en rabattre depuis ? » Le mauvais côté du collège qui l'éprouva le plus fut le manque de temps, l'impossibilité de communier avec ses propres idées... « Lorsque l'on franchit ce seuil de la science, on doit renoncer aux plaisirs les plus chers : la solitude, les livres, la rêverie. On ne jouira plus, dit l'incorrigible chercheuse d'images inintelligibles pour elle, du murmure berceur du vent dans les pins. »

A l'occasion des difficultés et des inconvénients que présentent des cours qu'on ne peut suivre que grâce à une traduction manuelle, elle se demande si les élèves qui

(1) Page 119.

prennent des notes sont plus avancées, si, tandis que la plume court sur le papier, on peut prêter au professeur une attention bien soutenue. Notre expérience personnelle répondrait affirmativement, mais nous connaissons des étudiants sérieux pour qui le temps des cours est en effet un temps perdu.

Notons quelques réflexions inspirées à Hélène Keller par l'enseignement supérieur donné à Radcliffe. « Le collège n'est pas, ainsi que je l'avais cru, un refuge de l'universelle sagesse. On ne s'y rencontre pas face à face avec les grands hommes et les sages. On ne les y sent pas vivre. Ils sont là comme momifiés. On va les chercher au fond des rayons poudreux pour les analyser, les disséquer, en quelque sorte, afin de reconnaître leur authenticité. Les savants, ce me semble, oublient trop souvent que la joie que nous font éprouver les chefs-d'œuvre littéraires tient plus aux sentiments de sympathie qu'ils nous inspirent au premier contact, qu'à l'érudition avec laquelle ils nous les analysent... Je n'entends pas protester contre une étude approfondie des belles œuvres que nous lisons. Je proteste seulement contre les interminables commentaires et ces critiques stupéfiantes qui ne nous apprennent qu'une chose, c'est qu'il y a autant d'opinions que d'hommes.

» Par contre, quand un vrai savant comme le professeur Kittredge interprète les œuvres d'un maître, on croit le voir surgir lui-même de la pénombre de l'histoire. Un frisson d'enthousiasme nous enlève à la terre et Shakespeare, poète, nous apparaît.

» Il y a cependant des heures où j'aimerais à balayer de mon esprit la moitié des choses dont l'étude m'est imposée, car le cerveau surmené ne peut jouir des trésors de connaissance qu'il a acquis à si grand'peine... Les examens ! le voilà bien l'affreux cauchemar de ma vie de collège ! Je les ai affrontés bien des fois, j'en suis sortie victorieuse, et cependant je les vois toujours se dresser menaçants et

il me faut rassembler tout mon courage pour ne pas défaillir...

» Alors que je ne voyais encore Radcliffe que dans un lointain avenir, il m'apparaissait auréolé d'un halo romantique que j'ai bien cessé aujourd'hui de lui voir. Entre la période d'enthousiasme et le moment actuel, j'ai appris beaucoup de ces choses que seule l'expérience enseigne. J'ai appris, par exemple, à reconnaître quelle qualité précieuse est la patience qui fait triompher des plus grosses difficultés. Si nous possédions cette vertu, nous nous instruirions tranquillement, à loisir, comme on se promène dans la campagne, en laissant notre esprit ouvert aux impressions de toutes sortes. Les acquisitions ainsi faites se fixent dans l'esprit qu'elles aiguillent vers les pensées sérieuses (1)... »

Nous nous sommes laissé aller à citer beaucoup de ces réflexions auxquelles s'abandonne Hélène Keller à la fin du récit de sa vie scolaire, car elles effacent l'impression de puérilité que pouvait donner cette course effrénée à l'égalité avec les premiers des voyants et entendants et ne laissent plus subsister que celle de l'admiration pour tant de volonté appliquée à la poursuite d'un but qui, décidément, est plein de noblesse.

Sentiments moraux et religieux. — L'histoire des sentiments moraux chez Marie Heurtin est très intéressante, parce qu'on y voit éclater, de façon spontanée et très vive, certaines tendances que l'éducation doit modifier. Un jour, la Sœur Sainte-Marguerite veut lui donner les idées de *richesse* et de *pauvreté*, et elle lui fait tâter un chemineau avec ses vêtements déchirés et son sac sur le dos, lui opposant une personne bien habillée, parée de bijoux et qui avait quelques pièces de monnaie dans sa poche. Alors l'enfant se redressa, déclara qu'elle ne voulait pas être pauvre et que son père « avait des sous », et elle

(1) Pages 125 à 128.

exhala son mépris pour les mendiants et les pauvres. Elle était si montée, ce jour-là, que la Sœur la laissa se calmer, mais elle revint à la charge le lendemain, et demanda à Marie si elle l'aimait : celle-ci lui ayant exprimé toute son affection, qui de fait était très vive, la Sœur lui montra qu'elle était pauvre, qu'elle n'avait pas d'argent et lui inspira des sentiments plus justes à l'égard de la pauvreté.

L'acquisition de l'idée de *vieillesse* fut plus terrible encore, dit M. Arnould. Une vieille sourde-muette de quatre-vingt-deux ans se prêta à l'expérience ; Marie lui palpa le visage, connut ses rides et son corps courbé, et les compara à son propre corps, ainsi qu'à ceux de Sœur Sainte-Marguerite. Celle-ci lui annonça qu'elle, Marie, serait un jour comme la vieille sourde-muette, qu'elle aurait des rides, et qu'après avoir grandi elle finirait par se courber et par avoir besoin d'un bâton pour marcher. La révolte fut formidable. L'enfant déclara que ce ne serait point, qu'elle ne voulait pas que cela fût, qu'elle entendait toujours rester jeune... et puis, quand la vieillesse viendrait, elle se raidirait pour ne pas se laisser courber par elle. Le lendemain, la Sœur Sainte-Marguerite la reprit avec douceur, lui expliqua qu'elle-même aurait des rides et tous les inconvénients de la vieillesse, et que néanmoins elle était contente et heureuse ; elle la persuada si bien que, les autres Sœurs demandant à Marie si elle était triste de penser à sa vieillesse : « Non, répondit-elle, *Marguerite veut.* »

Vint ensuite la révélation de la *mort*. Une sœur sourde-muette, à laquelle s'était attachée Marie, ayant été emportée soudain par une congestion, Sœur Sainte-Marguerite parla doucement de la morte à l'enfant, lui disant qu'elle était couchée, ne se lèverait plus, qu'elle ne ferait plus la cuisine, ne tricoterait plus... On lui proposa d'aller auprès de la morte : elle y vola à travers les corridors et fut très péniblement saisie par l'impression de froid du cadavre. En apprenant qu'elle mourrait, elle aussi, et

serait comme la Sœur Joseph, elle se révolta encore une fois ; encore une fois il fallut toute l'autorité insinuante de la Sœur Sainte-Marguerite pour la calmer, en lui montrant qu'elle-même, la Sœur, mourrait à son tour et qu'elle était douce devant cette idée. L'enfant se résigna encore parce qu'il le fallait : « C'est Marguerite qui l'a dit (1). »

Laura Bridgman présenta, en face de la mort, des impressions fort analogues, d'après l'auteur de l'introduction à l'ouvrage de Miss Lampson : « Elle décrivait, dit-il, avec des gestes frénétiques l'horreur qu'elle ressentit lorsqu'à l'âge de sept ans (2) elle toucha un cadavre », bien qu'elle n'eût pas une idée exacte de ce qu'est un cadavre. A l'asile, elle manifesta la même terreur en apprenant la mort de quelques-unes de ses compagnes, et elle refusait naïvement d'admettre qu'elle dût subir la même loi.

La mort d'un enfant qui lui était cher amena le Dr Howe à lui inculquer la croyance en l'immortalité : ce fut pour elle une consolation ; elle n'avait d'ailleurs aucune idée intuitive à ce sujet.

La mort de la Sœur Joseph servit aussi d'introduction à l'idée d'immortalité dans l'esprit de Marie Heurtin, mais d'une façon un peu détournée. Un jour qu'elle venait de recevoir une lettre de son père et la baisait à plusieurs reprises, la Sœur Sainte-Marguerite s'efforça de lui faire comprendre que ce qui aimait en elle, c'était quelque chose qui n'était pas le corps et qu'on appelle l'*âme*, laquelle se sépare du corps au moment de la mort. « Ainsi, dit-elle, quand Sœur Joseph est morte, tu as tâté son corps qui était glacé, mais son âme qui t'aimait est partie ailleurs ; son âme vit toujours et continue à t'aimer (3). »

De cette première notion des êtres immatériels, il s'agissait de s'élever à celle de Dieu, et ce fut à l'idée de causalité que s'adressa la Sœur Sainte-Marguerite. Après

(1) *Une âme en prison*, pages 19 à 21.
(2) Avant son entrée à l'Institution de Boston.
(3) Page 22.

avoir appris à son élève, en la menant chez le boulanger, chez le menuisier, etc., que tout objet est fabriqué, elle lui demanda qui avait fait le soleil, pour lequel elle était pleine d'admiration et de reconnaissance (elle grimpait aux arbres pour s'en rapprocher et essayer de l'atteindre), et elle lui expliqua que celui qui l'avait fait est plus grand, plus fort, plus savant que tout le monde. « Dans une classe, la Sœur est au-dessus de toutes les petites filles, la Supérieure est au-dessus de toutes les Sœurs, M. l'Aumônier est au-dessus de la Supérieure, Mgr l'Évêque de Poitiers est au-dessus de M. l'Aumônier, et il a au-dessus de lui le Pape... Au-dessus même du Pape est Celui qui a fait le soleil, et il n'a pas de corps, il est comme une âme, il te connaît, il te voit, il t'aime, et il connaît, et il voit et il aime tous les hommes, et son nom est Dieu. »

Très intéressante est l'histoire de l'acquisition de l'idée de Dieu par Laura Bridgman. Le Dr Howe était imbu d'idées rappelant celles de l'*Émile* et ne voulait pas qu'on mît prématurément une Bible entre ses mains. « Quand ses facultés perceptives, disait-il, auront pris connaissance des opérations de la nature ; qu'elle sera accoutumée de remonter des effets aux causes ; alors sa vénération pourra s'adresser à celui qui est tout-puissant... Jusque-là je crois qu'il n'est pas sage, par un effort prématuré, de courir le risque de lui donner de Dieu une idée indigne, fatale à la paix de son âme. » Mais elle interroge, et le journal de l'institutrice porte à la date du 9 juin 1841 (Laura avait de onze à douze ans) : « Elle demande qui a fait l'eau. — Renvoyé au Dr Howe pour la réponse. » Les questions deviennent de plus en plus pressantes, et, du continent européen où il se trouvait alors, le Dr Howe se décide, en 1845, à envoyer ce qu'on peut appeler sa *Profession de foi du vicaire savoyard*, sous la forme d'une longue lettre d'un caractère grave. A partir de ce moment

et jusqu'à la fin de sa vie, Laura lut la Bible et mena la vie d'une femme pieuse.

Le docteur en théologie qui a écrit l'introduction à l'ouvrage de Miss Lampson interrogea Laura sur ses idées relatives à Dieu, et voici le résultat de cet interrogatoire :

1° Avant l'entrée à l'asile, Laura n'avait aucune croyance en l'existence d'un Dieu infini et parfait, aucune idée à cet égard ;

2° L'habitude de raisonner de l'effet à la cause, en particulier à partir de sa propre nature morale, l'avait amenée à croire, occasionnellement, à un ou à des êtres mystérieux qui pouvaient la toucher en quelque chose ;

3° Son idée de cet être ou de ces êtres était très inférieure à l'idée d'un Dieu infini, mais était juste à la hauteur de ses connaissances des phénomènes ;

4° Sa croyance dépendant et résultant de sa connaissance des phénomènes, elle se serait élevée à la foi en l'Infini, si elle avait pu arriver à une vue compréhensive et exacte de ces phénomènes ;

5° La foi, quelle qu'elle fût, n'était pas intuitive au sens ordinaire du mot ; mais elle dérivait du raisonnement.

Miss Sullivan a donné, dans le BULLETIN de la « Perkins Institution », plusieurs comptes rendus des progrès de son élève, et le rapport de 1891 contient d'intéressants détails sur la question du développement des idées religieuses. Soumise à la discipline du Dr Howe, Hélène Keller fut tenue le plus longtemps possible à l'écart de ces idées. Mais, dès l'âge de huit ans, elle demandait : « D'où suis-je venue ? — Où irai-je quand je mourrai ? » Les réponses qu'on lui faisait ne la satisfaisaient pas. Réfléchissant aux limites du pouvoir de l'homme, elle se dit qu'une puissance supérieure à l'humanité devait avoir créé la terre, le soleil et les milliers de choses qui sollicitaient son attention. Enfin elle demanda un jour le nom de cette puissance dont elle avait conçu l'existence. C'est une chose bien curieuse que ces efforts prolongés pour esquiver les ques-

tions de cette enfant, et quelque porté qu'on puisse être à ne pas agir prématurément en pareil cas, il semble bien qu'on a dépassé en ce cas toute borne raisonnable (1).

Est-ce à cela qu'on doit attribuer le rôle, en somme très restreint, que paraît jouer la religion dans la vie de Miss Keller ? Ce n'est pas de l'impiété, loin de là, mais il semble qu'il y ait là comme une fonction un peu atrophiée. Elle-même dit qu'elle est trop heureuse en ce monde pour penser beaucoup à l'au-delà ; mais, ajoute-t-elle, « il m'est doux de me dire que les amis que j'ai aimés ici-bas m'attendent dans le séjour mystérieux où Dieu réside » (2). Laura Bridgman était devenue pieuse ; en dehors des prédispositions naturelles, fut-ce parce qu'elle eut moins de bonheur terrestre, ou bien l'enseignement religieux, bien que tardif, le fut-il moins pour elle que pour Hélène Keller dont le développement intellectuel se produisit plus promptement ?

Au point de vue proprement moral, nos trois infirmes paraissent bien douées. L'appréciation sur Laura se résume en ces quelques mots : bon naturel, bonne humeur presque inaltérable, curiosité toujours en éveil, patience pour s'instruire égale à son ardeur.

Marie Heurtin montre un naturel très gai et la plus touchante affection pour la Sœur Sainte-Marguerite et pour sa compagne aînée, Marthe Obrecht. M. Arnould lui a procuré l'une des grandes joies de sa vie en lui demandant d'être la marraine d'une de ses filles. Sa piété paraît de la plus heureuse nature ; et elle lui inspira une touchante réponse à une suggestion relative à une guérison à aller demander à Lourdes : « Non, je veux rester ainsi. Je ne veux pas voir ici-bas pour voir d'autant plus de clarté là-haut. » Combien il est heureux qu'elle ne se laisse pas envahir par un fol espoir !

(1) Voir l'Annexe à *Histoire de ma vie* sur le développement intellectuel, pp. 290 à 300.

(2) Page 166.

Hélène Keller, avec la vie active qu'elle a commencé à mener, est appelée à faire preuve d'une bienfaisance positive. Elle avait dix ans quand elle apprit qu'un petit garçon aveugle et sourd était dans un dépôt de mendicité de Pensylvanie : elle se mit à solliciter des souscriptions et à faire des économies, si bien que Tommy Stringer put venir à Boston. On nous donne des lettres écrites à ce sujet au poète Wendel Holmes, au peintre anglais Millais, à l'éditeur de Boston Herald ; à sa requête, l'évêque Brooks, pour lequel elle professe une tendre vénération, prononça une allocution.

A douze ans, elle offre un thé dont le produit était destiné au *Kindergarten* des aveugles, et ce produit fut de plus de deux mille dollars. Citons un passage d'une lettre où elle plaide la cause de son thé : « Les braves gens ne me causeront pas une déception, sachant que je plaide la cause des pauvres petits déshérités qui vivent dans les ténèbres et l'ignorance. Ils viendront à mon thé pour donner à tant de petits aveugles sans amis la lumière de la science et de l'amour. Je me souviens très bien du jour où mon institutrice vint à moi. Je ressemblais alors aux petits aveugles qui attendent pour entrer au *Kindergarten.* Il n'y avait pas de lumière dans mon âme. J'ignorais ce monde merveilleux plein de beauté et de soleil. Jamais je n'avais imaginé sa splendeur. Mais l'institutrice arriva et elle m'apprit à me servir de mes doigts comme d'une clef admirable qui a ouvert les portes de ma sombre prison et libéré mon esprit. — Partager mon bonheur avec les autres, tel est mon désir le plus ardent, et je demande aux bonnes gens de Boston de m'aider à rendre plus heureuse, plus lumineuse la vie des petits aveugles (1). »

Telle est, nous semble-t-il, sa véritable vocation, le dévouement pour ses frères et sœurs en infirmité. Avec d'autres formes, une autre *allure*, il faut qu'elle soit en

(1) Pages 229 et 230.

Amérique ce qu'est en France M. Maurice de la Sizeranne.

Nous sommes arrivé au terme de notre compilation, dans laquelle nous n'avons rien mis de nous. Tout son intérêt, si elle en a, résulte du rapprochement que nous avons fait des documents relatifs à trois sujets que tant de choses séparent et qui cependant présentent des traits communs qui par là deviennent singulièrement instructifs. Nos trois amies, la morte comme les deux jeunes vivantes, font ressortir à quel point l'intelligence a besoin de peu de chose pour prendre un plein développement. La vue, l'ouïe, ces deux sens supérieurs, peuvent faire défaut, l'odorat et le goût peuvent disparaître à leur suite, et cependant l'intelligence subsiste pleine et entière (1). En vain retarde-t-on au delà de toute limite l'initiation aux idées religieuses : la notion d'une puissance supérieure vient hanter l'esprit humain. D'un autre côté, si nous voyons toutes les révoltes de notre nature contre la misère et la mort, nous voyons aussi comment l'apaisante résignation peut pénétrer en nous.

GEORGES LECHALAS.

(1) « Il faut, dit Diderot, manquer d'un sens pour connaître les avantages des symboles destinés à ceux qui restent ; et des gens qui auraient le malheur d'être sourds, aveugles et muets, ou qui viendraient à perdre ces trois sens par quelque accident, seraient bien charmés qu'il y eût une langue nette et précise pour le toucher. » (*Lettre sur les Aveugles*, citée par M. Arnould).

LES DÉCHARGES ÉLECTRIQUES

DANS LES GAZ (1)

On accordera sans peine qu'il est peu de phénomènes électriques qui charment plus agréablement la vue que les décharges dans les gaz. Il n'en est guère non plus qui aient plus opiniâtrément résisté à toutes les tentatives des physiciens pour les expliquer. Leur variété est aussi merveilleuse que leur beauté, et elle ne constitue pas la moindre part de la difficulté.

Quel lien, quelle similitude d'origine, imaginer entre les lueurs transparentes qu'on voit palpiter doucement sous les parois luminescentes des tubes à gaz raréfié de Geissler, de Crookes, de Rœntgen, et les explosions soudaines de l'étincelle aux pressions ordinaires de l'atmosphère, avec leur éclat éblouissant et leur énergie destructrice ? Ou encore, pourquoi des aigrettes ou des lueurs passent-elles là où l'étincelle ne peut se produire, et qu'est-ce donc enfin que cette demi-conductibilité de l'air qui semble emporter la charge d'une pointe électrisée dans le vent électrique, sans pourtant jamais se charger lui-même dans sa masse ? Qu'est-ce surtout que ces stries qui partagent si étrangement en tranches alternativement lumineuses et obscures le gaz qui semblerait devoir jouir de propriétés uniformes entre les électrodes des tubes de Geissler ?

(1) Ce travail fait suite à l'étude sur *Les Électrons*, parue dans cette REVUE le 20 janvier 1905.

Comment les physiciens auraient-ils résisté à la séduction d'une étude aussi passionnante ? Tout paraissait leur promettre que les résultats seraient aussi solides que le charme était attirant. Il semblait bien que ce fût la manière la plus directe et la plus sûre de pénétrer enfin l'énigme de l'électricité. Car, tandis que, dans les solides et les liquides, cet agent mystérieux ne se manifestait que par des effets indirects et qu'on ne pouvait saisir que dans son passage d'un milieu à un autre, dans les gaz au contraire, on suivait son trajet dans toute l'étendue de son parcours. Il devait donc être relativement facile, en l'interrogeant partout à la fois, sans qu'il pût se dissimuler nulle part, de lui arracher enfin son secret.

Aussi, pendant longtemps, l'engouement pour les expériences électriques lumineuses fut-il considérable. On étudia patiemment les formes si multiples de la décharge, on les diversifia à l'infini, on fit quelques mesures (trop peu, il faut bien le dire), on essaya des hypothèses, et finalement on fut obligé d'avouer un échec lamentable. Il y a vingt ans on ne savait vraiment rien de ce qui se passe dans la décharge de l'électricité dans les gaz, sinon que le spectroscope y fait voir les raies du milieu et dans certains cas celles des électrodes.

C'est à ce moment que l'étude des rayons cathodiques et de la riche moisson de phénomènes nouveaux qui s'y rattachent commença à orienter les recherches du côté des transports de particules matérielles chargées électriquement. Crookes, à la suite de Varley, ouvrit cette voie, où devait enfin se rencontrer un système assez parfait pour relier toutes les observations. Celui qui a le plus fait, sans contredit, pour constituer définitivement cette théorie, soit par lui-même soit par l'école dont il est le chef incontesté, c'est le directeur du Cavendish Laboratory de Cambridge, J. J. Thomson. Il vient justement de définir dans

un magistral volume (1) l'ensemble de nos connaissances actuelles sur ce sujet si attrayant. Nous allons le prendre pour guide. Il n'en saurait être de meilleur.

Le principe fondamental de la théorie actuelle est que les gaz ne peuvent conduire l'électricité que grâce à la présence dans leur sein de petites particules matérielles chargées soit positivement soit négativement, qui, sous l'influence des forces du champ, se meuvent à travers les molécules neutres. En d'autres termes, le passage de l'électricité dans les gaz est un courant de convection analogue à celui qu'on observe dans l'électrolyse des liquides. Les particules chargées, dans l'un et l'autre cas, diffèrent des molécules ordinaires : elles proviennent de leur dissociation. On leur donne, d'une façon générale, le nom d'*ions*. Mais il faut soigneusement se garder de confondre les ions des gaz avec ceux des électrolytes. On insistera plus loin sur les différences qui caractérisent les deux espèces.

Nous allons examiner successivement les différents modes de décharges qui peuvent se produire dans les gaz, et montrer comment l'hypothèse des ions les explique.

Il faut distinguer, d'abord, deux genres nettement opposés. Dans le premier, la décharge est convoyée par les ions préexistants et s'arrête quand ils ont tous été transportés jusqu'aux électrodes. Dans le second, le courant lui-même, tout en entraînant les ions qu'il trouve dans le gaz à son début, en reforme sans cesse de nouveaux, tant que les conditions initiales, et notamment la différence de potentiel, subsistent entre les deux électrodes. De sa nature, cette seconde forme de décharge est donc apte à durer indéfiniment.

(1) *Conduction of Electricity through Gases*. Cambridge, University press. — Comme de juste, Thomson expose principalement ses propres travaux et ceux de ses élèves. J'ai ajouté quelques détails pris dans les mémoires allemands.

§ 1. — *Décharges qui ne forment pas d'ions*

Pour préciser les idées, nous considérerons d'abord un cas des plus des simples et des plus ordinaires, les courants de déperdition. Ils sont du premier genre. Après avoir montré comment leurs caractères ne peuvent être expliqués qu'au moyen de la conductibilité électrolytique ou convection, nous achèverons de déterminer à ce propos les propriétés de cette conductibilité. Après quoi, nous continuerons à en faire l'application aux autres formes de la décharge électrique dans les gaz, en épuisant d'abord celles qui ne reforment pas d'elles-mêmes les ions.

Les courants de déperdition en question sont ceux qui font qu'un conducteur électrisé, placé dans un gaz, ne peut conserver indéfiniment sa charge, si bien isolé soit-il. On connaît actuellement un certain nombre de substances solides ou liquides qui produisent un isolement presque parfait, de sorte que cette dernière condition peut être satisfaite avec une approximation aussi grande qu'on voudra. Or, malgré toutes les précautions, on constate toujours des fuites, et, de plus, on reconnaît, à n'en pouvoir douter, qu'elles ont lieu à travers le gaz où baigne le conducteur. Coulomb, il y a cent et vingt ans, les connaissait déjà, et il en avait donné une explication qui s'est perpétuée jusqu'à nos jours dans les traités de physique. D'après lui, les molécules du gaz sont attirées par le conducteur électrisé, chargées à son contact et ensuite repoussées, comme les balles d'un pendule à moelle de sureau. Depuis Coulomb, on a souvent attribué le même rôle aux poussières et aux gouttelettes d'eau en suspension dans l'atmosphère gazeuse.

Warburg, le premier, en 1872, établit nettement que le taux de perte n'est pas augmenté par l'humidité de l'air. Mais ce n'est que dans ces dernières années qu'on est arrivé à une connaissance complète des conditions qui

influent sur la déperdition. Nous la devons surtout aux travaux de Elster et Geitel et de Wilson.

En voici les résultats :

La déperdition n'est pas la même dans les différents gaz. Elle est proportionnelle à la pression. Dans le vide elle serait donc nulle.

Elle croît avec le volume des vases qui contiennent le corps qui la subit, et elle est plus grande à l'air libre que dans un espace clos.

Quand on n'opère pas à l'air libre, elle diminue et cesse même complètement après un temps qui dépend du volume des vases. Elle reprend une nouvelle vigueur quand on remplace l'air confiné dans l'appareil par de l'air frais.

Elle n'augmente pas indéfiniment avec la différence de potentiel entre le corps électrisé et les parois du vase ou l'atmosphère libre, mais elle atteint bientôt, à potentiel croissant, une valeur maxima qu'elle ne dépasse plus (à moins qu'on n'augmente le potentiel jusqu'à provoquer des étincelles). Cette valeur s'appelle le *courant de saturation.*

Les poussières et l'humidité, non seulement ne favorisent pas la déperdition, mais la diminuent notablement. Les recherches d'Elster et Geitel, effectuées en plein air, sont surtout instructives à ce point de vue. Ainsi, par exemple, dans un air très transparent ils trouvaient 8,58 pour la déperdition d'une charge positive, 9,82 pour celle d'une charge négative. En temps de pluie ou de brouillard, ces valeurs descendaient respectivement à 3,18 et 2,77 pour le positif, à 3,02 et 2,64 pour le négatif. Elles sont, comme on le voit, sensiblement égales pour les deux signes. Il n'en est plus de même quand on s'élève sur les montagnes. Alors le négatif l'emporte de beaucoup sur le positif. La cause en est probablement dans le champ électrique normal de l'atmosphère, lequel correspond,

comme on sait, à des charges positives dans les hauteurs et négatives sur le sol.

La conductibilité spontanée observée de la sorte est extrêmement petite(1). Pour l'étudier commodément il faut l'exagérer par des moyens artificiels. Il n'en manque pas. Ils seront examinés plus loin. Pour le moment, supposons que nous en ayons employé un quelconque, par exemple les rayons X, et étudions la conductibilité exaltée ainsi obtenue.

Nous retrouvons d'abord tous les caractères précédemment énumérés. Mais nous constatons de plus que le gaz, l'air par exemple, rendu plus conducteur, peut être transporté d'un lieu dans un autre. Ainsi, il peut être aspiré dans un tuyau assez large, même métallique, sans perdre sa propriété conductrice. Il la perd, au contraire, si le tube est étroit, si on filtre le gaz à travers du verre pilé, de la laine de verre, ou de l'eau, ou encore si on y produit un champ électrostatique modéré. Enfin, si aucune de ces causes n'est mise en action, la conductibilité supplémentaire produite artificiellement se perd néanmoins avec une grande rapidité, surtout quand le gaz contient des poussières et de l'humidité. D'ordinaire, elle disparaît en un petit nombre de secondes.

Arrêtons ici la description des propriétés du courant de déperdition et comparons-les avec l'hypothèse du transport de l'électricité par les ions.

La suppression de la conductibilité par filtrage ou par aspiration à travers des tubes étroits montre que le courant est lié à quelque chose de matériel qui est transporté avec lui. Dans le premier cas, le filtre l'arrête ; dans le second, les parois le retiennent. Ce quelque chose est d'ailleurs chargé électriquement, puisqu'un champ électrique l'attire

(1) Ainsi, d'après Rutherford, l'atmosphère, dans les conditions normales, ne contient que 15 à 40 ions par centimètre cube, se mouvant à la vitesse de 1,4 cm. par seconde.

pareillement et l'extrait du milieu. Et comme le gaz dans son ensemble n'est pas électrisé, c'est donc que le positif et le négatif y sont en quantités équivalentes. D'ailleurs, il est naturel que les particules chargées, que nous appellerons *ions*, tendent à se répartir uniformément dans la masse totale du gaz par diffusion. Il y en aura donc d'autant plus dans un espace donné que la pression sera plus forte, et, comme il n'y en aura pas dans le vide absolu, celui-ci sera un non-conducteur parfait. Mais à mesure qu'ils ont transporté le courant leur nombre diminue, et par suite le courant doit baisser, et cela d'autant plus rapidement que le vase est plus petit. En évacuant l'air privé d'ions et en laissant rentrer de l'air frais nous renouvellerons la provision d'ions nécessaire. Enfin, la présence de poussières ou d'humidité est encore une cause de diminution du courant, parce que les ions s'y attachent et par suite perdent de leur mobilité.

Quant à la saturation du courant, elle indique que les ions, à mesure qu'ils sont consommés par le courant, se reforment avec une vitesse limitée. Quand il en est détruit autant qu'il s'en reforme à chaque instant, le courant atteint son maximum. On admet d'ailleurs qu'il y a dans tous les cas, donc alors même qu'aucun courant ne traverse le gaz, un processus incessant d'absorption et de reconstitution des ions, du fait de leurs rencontres avec les molécules neutres. Quand la différence de potentiel qui produit le champ atteint des valeurs considérables, de l'ordre de 1000 volts par centimètre à la pression atmosphérique, le courant commence à augmenter rapidement et s'élève bientôt à des valeurs énormes comparativement à celles du courant de saturation. C'est qu'on approche alors de la valeur du champ propre à donner des étincelles, et qu'il se produit une ionisation toute différente qui sera étudiée plus loin.

Il ne suffirait d'ailleurs pas de produire des ions, sans les employer à transporter un courant, pour augmenter

indéfiniment leur nombre. Il y a aussi une limite d'ionisation en l'absence de tout courant. Elle résulte sans doute de la recombinaison d'un certain nombre d'ions positifs et négatifs, dont les rencontres doivent être d'autant plus fréquentes que leur nombre est plus considérable — et aussi de la diffusion des ions vers les parois des vases ou vers les objets solides présents dans le gaz.

Pour étudier la conductibilité des gaz, voici comment on procède.

Quand la conductibilité est extrêmement faible, comme dans l'air naturel, on se contente d'observer la vitesse de décharge d'un électroscope très sensible.

Quand elle est augmentée artificiellement, on peut la mesurer au moyen d'un galvanomètre très sensible placé dans le circuit d'une pile avec deux plaques métalliques entre lesquelles on produit l'ionisation. Ou bien encore, une de ces plaques est en communication avec un des pôles de la pile, la seconde avec une paire de quadrants ou avec l'aiguille d'un électromètre de Kelvin. L'autre pôle de la pile est au sol.

Un autre élément de mesure très important est la vitesse de déplacement des ions.

Les méthodes de mesure de cette vitesse sont en principe les suivantes. A une distance connue du dispositif précédent (plaques métalliques dans le circuit d'une pile et d'un galvanomètre), on produit à un instant déterminé, par une des méthodes qui seront indiquées tout à l'heure, un surcroît d'ions. Il suffit d'observer alors le temps qui s'écoule avant la manifestation de l'augmentation de la conductibilité entre les plaques, et de la diviser par la distance, pour avoir la vitesse des ions. Ou bien, on entraînera les ions par un courant gazeux de vitesse donnée qu'on leur fera traverser normalement à sa direction. La déviation subie fera connaître le rapport des vitesses. Enfin les résultats sont ramenés à un champ de un volt par centimètre, pour faciliter les comparaisons.

Voici maintenant les causes extérieures, actuellement connues, qui augmentent le nombre des ions libres :

L'échauffement des gaz.

Les flammes, les métaux et le charbon incandescents, l'arc voltaïque.

La décharge électrique à travers les gaz.

Les rayons X, les rayons cathodiques et la lumière ultra-violette.

Les substances radio-actives.

Le phosphore (et l'eau, dans certains cas ?).

Enfin un champ électrostatique considérable.

Ces diverses causes agissent toutes en communiquant à certaines molécules ou à certains atomes assez d'énergie pour les dissocier en ions libres. Ce résultat est atteint de deux manières : ou bien en augmentant directement leur énergie, par exemple en élevant leur température, ce qui accélère leurs mouvements intestins au point de faire échapper un ou plusieurs électrons à leur dépendance vis-à-vis des autres. Ces électrons passent alors à l'état d'ions. Ou bien, en accélérant la vitesse de certains ions au point que leurs collisions avec les molécules neutres rencontrées deviennent assez violentes pour que la dissociation se produise sans absorption de l'ion abordeur. La vitesse de celui-ci en est simplement ralentie, et l'excédent d'énergie qu'il perd en le communiquant aux deux fragments de la molécule heurtée suffit pour empêcher leur réunion immédiate. Chaque collision donne ainsi trois ions au lieu d'un. Mais leur existence est beaucoup plus éphémère, puisqu'ils possèdent individuellement une énergie moindre.

Nous allons saisir ce mécanisme sur le fait dans chacune des causes d'ionisation énumérées.

Guthrie, en 1873, a montré qu'une boule de fer chauffée au rouge pouvait retenir dans l'air une charge positive, mais non une négative, tandis qu'au blanc elle perdait

également l'une et l'autre. Actuellement, on étudie ces effets en examinant à l'électroscope la charge que prend une plaque isolée située dans le voisinage du corps incandescent. De plus, l'effet dépendant de la nature et de la pression du gaz, on opère de préférence dans un vide avancé.

Pour reconnaître la nature des ions produits, on a mesuré le rapport $\frac{e}{m}$ de la charge à la masse, par la méthode des déviations électrostatique et magnétique. On a trouvé $8,7 \times 10^6$, dans le cas où la température est assez élevée pour livrer passage à la charge négative. C'est une valeur sensiblement égale à celle qu'on trouve pour les rayons cathodiques. Donc, dans ce cas, la décharge est transportée par les électrons émis par le métal ou le charbon incandescent. Au contraire, quand l'électricité positive est seule transmise, on trouve pour $\frac{e}{m}$ des valeurs souvent très inférieures à celles qui correspondent à l'électrolyse ordinaire. D'où il résulte que les porteurs de l'électricité positive sont, non seulement les atomes ou les molécules des solides en question et des gaz occlus, mais aussi des groupements plus complexes. J. J. Thomson a trouvé, par exemple, pour $\frac{e}{m}$ les valeurs extrêmes 60 et 720. Comme le même rapport a pour valeur dans l'électrolyse 10 000 pour l'hydrogène, et que la charge électrique (l'électron) est invariable, il en résulte que la masse du véhicule de l'électricité positive est ici 14 à 170 fois celle de l'atome d'hydrogène. On observe que le métal est désagrégé et projeté en poudre fine, ce qui a pu faire croire un moment que les particules arrachées étaient le siège de la charge. Mais la quantité d'électricité transportée par cette poussière ne correspond pas à celle que l'on obtient effectivement. Ce n'est donc pas *uniquement* la pulvérisation du corps chargé qui se montre effective. Les gaz occlus y ont aussi leur part, comme on le voit par la diminution d'activité observée quand on maintient

longtemps l'échauffement du corps dans le vide et la recrudescence marquée qui suit la rentrée de gaz frais, surtout quand c'est de l'oxygène.

Il y a longtemps qu'on avait constaté que l'électricité se perd d'autant plus rapidement sur un conducteur isolé, que l'atmosphère qui le baigne est portée à une température plus élevée. Il n'est pas facile d'étudier l'effet produit par la chaleur sur les gaz eux-mêmes, parce qu'ils se trouvent nécessairement au contact de solides (parois des récipients, électrodes destinées à étudier l'ionisation produite) dont les effets ionisateurs s'ajoutent à ceux du gaz. Sans entrer dans d'autres détails, disons que les résultats obtenus sont tout à fait analogues aux précédents.

Il en est sensiblement de même dans les flammes. Nous devons néanmoins nous y arrêter quelques instants, parce que la conductibilité des flammes — reconnue depuis longtemps — joue un rôle important. C'est, par exemple, le seul moyen connu de décharger complètement un isolant électrisé.

Il faut remarquer d'abord que, quand les flammes sont éclairantes, elles contiennent des particules solides incandescentes. Ce côté du phénomène nous ramènerait au premier cas étudié. Mais il n'est pas nécessaire que la flamme soit éclairante. Il suffit, mais cette condition est essentielle, que sa température soit assez élevée. Ainsi, la flamme relativement froide de l'éther ne produit pas d'ionisation.

Dans le cas de la combustion du carbone, cas des plus ordinaires, on trouve la couche externe, plus froide, chargée positivement ; l'intérieure, plus chaude, est négative. De là les effets de distension et de séparation observés sur une flamme placée dans un champ électrique intense, et souvent attribués à tort au vent électrique. La partie intérieure est attirée vers le côté positif du champ, l'enveloppe externe vers le négatif. En plaçant

les extrémités du circuit d'un galvanomètre sensible, d'une part dans la partie négative, d'autre part dans la positive, on obtient un courant. Ce courant renforce un courant concordant qu'on cherche à faire passer par la flamme, et affaiblit un courant opposé. D'où une différence de conductibilité suivant le signe. On dit que la conductibilité est *unipolaire*.

On s'est aperçu qu'en introduisant dans la flamme des sels volatils, on augmente notablement sa conductibilité, et que, de plus, les effets sont plus réguliers. On constate alors que le courant obtenu dans la flamme entre électrodes élevées à des potentiels croissants tend aussi vers une valeur de saturation, ou plutôt vers une croissance uniforme très lente qui se continue longtemps. C'est probablement parce que les ions négatifs sont épuisés les premiers, comme étant les plus rapides. Il reste alors un surplus d'ions positifs, dont l'utilisation successive peut prolonger pendant quelque temps l'accroissement du courant.

Les vitesses peuvent se déterminer ici par une méthode spéciale. Plaçons, l'une au-dessus de l'autre dans la flamme, les deux électrodes entre lesquelles nous mesurerons le courant, et mettons la perle de sel au contact de l'électrode supérieure. Les ions seront entraînés par le mouvement ascensionnel des gaz de la flamme. Donc, tant que leur vitesse ne sera pas au moins égale à celle du courant gazeux, ils n'arriveront pas au contact de l'électrode inférieure, et on n'observera pas dans le circuit l'augmentation de courant caractéristique. Mais dès que, en augmentant la différence de potentiel on aura accéléré la marche des ions jusqu'à cette limite, l'effet se produira immédiatement. Connaissant alors la vitesse du courant gazeux, la distance des électrodes et leur différence de potentiel, on possède tous les éléments nécessaires pour le calcul. H. A. Wilson trouve par la méthode précédente, dans un champ de un volt par centimètre à 2000°, pour

l'ion négatif, quel que soit le sel, 1030 cm. par seconde; pour le positif, d'origine quelconque également, 62 cm. par seconde. Dans un courant d'air à 1000°, les vitesses deviennent : pour le négatif 26 cm. par seconde, dans tous les cas; pour le positif 7,2 cm. pour le Li, le Na, le K, le Rb et le Cs, et 3,8 cm. pour le Ba, le Sr et le Ca.

Les différences si considérables pour les ions négatifs s'expliquent en admettant qu'ils sont lancés d'abord à très grande vitesse à l'état d'électrons ou de corpuscules, et qu'ils s'alourdissent d'autant plus lentement par adhésion aux molécules et aux poussières que leur température, et par suite leur vitesse initiale, est plus élevée.

C'est H. Hertz qui découvrit en 1887 l'action de la lumière ultra-violette sur la conductibilité de l'air. Un rayon de cette lumière produit par l'arc électrique ou l'étincelle, ou encore par la flamme du magnésium, et tombant sur le pôle négatif d'une micromètre à étincelles, facilite la décharge. On reconnut bientôt que, d'un manière générale, elle produit une déperdition d'électricité négative sur certains métaux, et cela qu'ils soient électrisés au préalable ou non, si bien que, lorsqu'ils sont primitivement neutres, les rayons en leur enlevant de l'électricité négative les laissent chargés positivement. Elster et Geitel trouvèrent que les métaux sont d'autant plus sensibles à cette action qu'ils sont plus électropositifs, de sorte qu'on peut sous ce rapport les ranger comme dans la liste de Volta pour l'électricité de contact. Les termes extrêmes de la série, Rb, K, S, sont même sensibles à ce point qu'il suffit de les approcher d'une lampe à pétrole, voire d'un bâton de verre chauffé au rouge sombre.

L'effet étudié ici se produit sur les métaux eux-mêmes, ou du moins à leur contact, et non dans la masse du gaz. Il faut évidemment y reconnaître la production d'ions négatifs, due sans doute au fait que l'ébranlement produit par les vibrations lumineuses de courte longueur d'onde

se trouve être capable d'accélérer par une sorte de résonnance les mouvements des électrons négatifs. Ceux-ci alors sortent du métal, mais sont bientôt captés par des molécules avec lesquelles ils forment des ions lents, qui se diffusent dans le voisinage du métal. En effet, on trouve, dans le vide avancé, pour leur rapport $\frac{e}{m}$ la valeur $7,6 \times 10^6$ à $11,5 \times 10^6$, comme pour les rayons cathodiques. A la pression ordinaire, leur vitesse très faible, 1,4 cm. par seconde, montre qu'ils sont considérablement alourdis.

Outre l'effet produit dans le voisinage immédiat des métaux, il y a aussi un effet des rayons ultra-violets sur l'air lui-même. C'est Lénard qui l'a découvert. Son affaiblissement est très rapide.

Il est dû aussi à la mise en liberté d'électrons négatifs. Seulement, les molécules dissociées étant, cette fois, mobiles et réparties dans toute la masse du gaz, cela entraîne la production corrélative d'ions positifs ; de telle sorte que le gaz devient conducteur pour les deux signes.

Dans l'air ordinaire, Lénard a trouvé une vitesse presque double de la précédente, pour les ions négatifs (3,13). Pour les positifs il a été conduit à un chiffre extrêmement faible : 0,0015. Ces ions s'alourdissent donc très rapidement, ce qui rend compte de leur prompte absorption.

Les rayons X ionisent fortement les gaz. C'est sans doute par le même mécanisme que la lumière ultra-violette. On sait qu'ils prennent naissance partout où des rayons cathodiques à grande vitesse tombent sur un corps solide. On les considère comme des perturbations électro-magnétiques de l'éther analogues à la lumière dans leur nature, mais sans périodicité régulière, c'est-à-dire comme des trains de vibrations amorties, dont la longueur d'onde n'est pas toujours la même et qui se suivent à des intervalles relativement considérables.

On conçoit que chaque fois qu'un ébranlement de cette

sorte passe sur une molécule gazeuse il tende à la disloquer. Un certain nombre d'ions des deux signes sont ainsi mis en liberté. Les rayons X en tombant sur un obstacle solide subissent à leur tour une transformation. L'obstacle émet des rayons secondaires, c'est-à-dire un rayonnement complexe renfermant des rayons X moins pénétrants et des rayons analogues aux rayons cathodiques, dont il sera parlé plus loin et qui sont justement des projections d'électrons négatifs. Les rayons secondaires, à leur tour, se tranforment au contact d'un obstacle en rayons tertiaires. Tous produisent des ions. Dans le vide, la vitesse des ions négatifs (rayons secondaires) est de $1,8 \times 10^9$ à $8,5 \times 10^9$ cm. par seconde ; dans l'air sec à la pression normale, de 1,36 cm. pour les positifs, et de 1,87 cm. pour les négatifs.

Le nombre des ions produits dépend de la pression et de la nature du gaz. A pression constante, il est proportionnel à la température absolue. Ce qui est remarquable, c'est que, quand les rayons sont entièrement absorbés, le nombre des ions semble être identiquement le même, quelle que soit la nature du gaz, c'est-à-dire que les pouvoirs d'ionisation et d'absorption des divers gaz sont dans un rapport constant. Si des mesures plus précises confirment cette conclusion, c'est là un précieux apport pour la théorie.

Une confirmation plus importante encore a été obtenue grâce à l'ionisation produite par les substances radioactives.

Ces matières produisent des ions des deux signes, qu'elles émettent sous forme de projectiles : on les appelle les rayons α, qui sont chargés positivement, et les rayons β, qui le sont négativement. De plus, une troisième espèce de rayonnement, les rayons γ, plus absorbable et plus difficile à étudier, semble être analogue aux rayons X. Les deux premières sont identiques aux rayons anodiques et cathodiques qui seront étudiés plus loin. Cette indica-

tion nous suffira ici : car il y aurait trop à dire sur la radio-activité pour nous en occuper davantage en ce moment.

L'émission spontanée des substances radio-actives est probablement la principale cause de l'ionisation de l'air naturel par l'examen de laquelle nous avons commencé cette étude. En effet, Elster et Geitel ont fait la très curieuse découverte que l'air stagnant des cavités fermées, caves, grottes, trous de sonde, etc., est notablement plus conducteur que l'air ordinaire, ce qui ne semble attribuable qu'aux matières radio-actives contenues dans le sol. Les rayonnements solaires pourraient y avoir leur part. La lumière ultra-violette seule ne suffirait pas, puisqu'elle ne fournit que des ions négatifs.

Nous ne citons que pour mémoire l'ionisation produite dans l'air au contact du phosphore qui s'oxyde lentement. Elle a les mêmes caractères que les précédentes, mais le mécanisme de sa production est loin d'avoir été suffisamment pénétré. Il s'agit, selon toute probabilité, d'un effet secondaire de sa lente oxydation.

Nous laisserons également de côté l'ionisation produite sur l'air qui a traversé une couche d'eau. L'étude en est peu avancée.

Après avoir donné cet aperçu des diverses manières de produire des ions dans les gaz, il nous faut maintenant rappeler l'attention sur la nature de ces ions.

Tout d'abord la similitude des phénomènes, et mieux encore la concordance des mesures obtenues jusqu'à présent, ne permet pas de douter que, dans tous les cas étudiés, il s'agisse des mêmes ions, quelle que soit leur origine. Pour s'en convaincre, il suffit de parcourir les tableaux suivants, où se trouvent réunis les principaux résultats de ce genre actuellement connus, en ce qui concerne la vitesse v, la charge électrique e, et le rapport de la charge à la masse $\frac{e}{m}$.

MESURES DANS LE VIDE TRÈS AVANCÉ

Agent ionisant	v	e	$\frac{e}{m}$
Rayons Rœntgen	$(1,8$ à $8,5) \times 10^9$	$6,5 \times 10^{-10}$	—
» cathodiques	$(2,2$ à $5,6) \times 10^9$	—	$(0,77$ à $1,865) \times 10^7$
» β radio-actifs	16×10^9	$3,4 \times 10^{-10}$	1×10^7
» ultra-violets	—	—	$(0,76$ à $1,15) \times 10^7$
Métaux incandescents	—	—	$0,87 \times 10^7$
Rayons anodiques	$3,6 \times 10^7$	—	300
Métaux au rouge	—	—	60 à 720

Les deux derniers exemples cités, celui des rayons anodiques ou *Kanalstrahlen* et celui des métaux au rouge, sont les seuls connus pour les ions positifs. Tous les autres se rapportent aux ions négatifs.

MESURES A LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE

Agent ionisant	*Ions positifs*	*Ions négatifs*
Rayons Rœntgen	1,36	1,87
» α radio-actifs	1,30	—
» ultra-violets	—	1,4
Pointe électrisée	1,32	1,80
Métaux incandescents à 1000°	7,2	26
» » 2000°	62	1030

Ce dernier tableau ne contient que les vitesses dans un champ d'un volt par centimètre, les valeurs de $\frac{e}{m}$ et celles de e n'ayant pu être déterminées jusqu'à présent à la pression ordinaire. Cependant l'étude de la diffusion des ions vers les parois a montré que e est toujours du même ordre, quelle que soit la pression.

En tenant compte de la difficulté des mesures et du peu de temps écoulé depuis qu'on s'occupe de ces recherches, il est donc permis de considérer comme très vraisemblable que les ions sont les mêmes dans tous les cas, quelle que soit leur origine, quand on considère des expériences faites à la même pression.

Quant aux différences qui se rencontrent entre les vitesses aux pressions basses et à la pression ordinaire de l'atmosphère, elles sont dues, très probablement, au fait

que les particules électriques, c'est-à-dire les électrons, rencontrent dans ce dernier cas une foule de molécules neutres, et en outre, des poussières solides ou liquides auxquelles elles demeurent attachées. Alourdies de la sorte, elles perdent très rapidement l'énorme vitesse avec laquelle elles quittent la molécule dissociée. L'électron négatif est beaucoup plus ralenti que le positif, bien qu'il finisse par garder une vitesse un peu supérieure. Cela tient sans doute à une cause du même ordre que celle qui fait que la condensation des vapeurs saturantes a lieu plus aisément sur les électrons négatifs que sur les positifs. Il est possible d'ailleurs qu'en réalité ceux-ci deviennent finalement plus rapides ou au moins aussi rapides que les autres. Seulement, comme on ne peut mesurer les vitesses que sur des parcours relativement considérables, on n'obtient que des moyennes, que la vitesse initiale supérieure de l'électron négatif rend plus favorables à celui-ci.

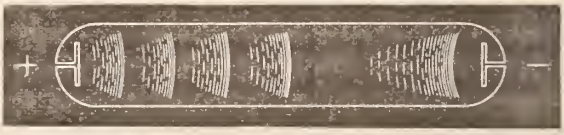
On voit que dans les phénomènes qui nous occupent, ce n'est pas l'électron originel avec sa masse de $\frac{1}{1000}$ de l'atome d'hydrogène qui est en jeu pratiquement. C'est, au contraire, avec une masse bien supérieure à celle de cet atome qu'il se présente d'ordinaire. Voilà pourquoi, dans cette étude, il ne nous est pas possible de nous en tenir à la considération des électrons, mais nous devons faire appel aux ions, c'est-à-dire à l'ensemble d'une charge électrique élémentaire, un électron, et d'une masse matérielle de grandeur variable, qui se meut avec elle.

§ 2. — *Décharges qui reforment des ions*

Nous arrivons maintenant au cas le plus important, celui des ions produits par une différence de potentiel suffisante appliquée à deux électrodes situées dans un gaz. Il donne lieu aux phénomènes de décharge les plus usuels,

étincelles, lueurs, arc électrique, et il transporte des charges bien plus importantes que les courants de déperdition considérés jusqu'à présent. On appelle parfois en Allemagne *Sebstständige Strömung* les courants que nous allons considérer. En effet, comme nous le verrons, la décharge elle-même reforme constamment les ions qu'elle transporte aux électrodes, et ainsi le milieu en contient toujours assez pour lui livrer passage. Nous avons donc affaire au second genre de décharges annoncé au début de ce travail.

Étudions avant tout les apparences extérieures, la physionomie de la décharge, s'il est permis de s'exprimer ainsi, dans un tube de Geissler ordinaire. C'est la forme la plus complète, la forme type, à laquelle il nous sera facile de ramener ensuite toutes les autres.



Chacun sait qu'un tube de Geissler est une ampoule de verre traversée par deux fils de platine qui servent à la mettre dans le circuit d'un courant. Les terminaisons intérieures du fil positif et du fil négatif, s'appellent respectivement l'anode et la cathode. L'ampoule contient un gaz sous faible pression, généralement de l'ordre du millimètre de mercure. Quand un courant de force électromotrice suffisante est appliqué aux deux fils de platine, on voit l'intérieur se remplir de masses lumineuses de colorations diverses séparées par des intervalles obscurs. L'ordre de leur succession est invariable à partir de la cathode, qui joue dans tous ces phénomènes le rôle prépondérant.

Sur la cathode même on trouve d'abord une gaine lumineuse rougeâtre : c'est la première lueur négative ou la lueur cathodique. Puis vient un espace obscur nette-

ment délimité et de peu d'épaisseur (1,2 mm. dans l'air pour 2 mm. de pression), c'est l'espace obscur de Crookes. Ensuite une lueur bleu-grise et plus large qui se dégrade insensiblement vers le côté de l'anode, la seconde lueur négative. Elle se fond peu à peu dans un nouvel espace obscur plus étendu que le premier, l'espace sombre de Faraday. Au delà se présente une masse lumineuse rougeâtre qui peut être continue ou séparée par des stries transversales obscures. Elle s'étend jusqu'à l'anode, et s'appelle dans son ensemble la colonne ou la lueur positive (ou anodique).

La colonne positive est, en étendue, la partie la plus considérable de la décharge dans les tubes ordinaires ; mais son importance est tout à fait secondaire. Le facteur essentiel est le côté cathodique. Prenons, par exemple, un tube très long et munissons-le d'une électrode mobile. Nous y arrivons sans peine en reliant cette électrode au fil de platine soudé dans le verre au moyen d'un fil en spirale, de manière à pouvoir régler du dehors le déplacement du système au moyen d'un aimant. Or, en faisant varier de la sorte la distance des électrodes, nous constaterons qu'il n'y a jamais de changement à la cathode. A l'anode, d'autre part, les diverses parties de la décharge semblent rentrer dans le métal ou en sortir suivant le sens du mouvement, mais sans que jamais il y ait de modification ailleurs que dans le voisinage immédiat de l'anode. La décharge constitue donc un tout bien défini, qui semble s'appuyer essentiellement sur la cathode. Le rôle apparent de l'anode est de limiter son développement en supprimant purement et simplement les parties extrêmes. J. J. Thomson a employé des tubes ayant jusqu'à 15 mètres de long. La partie négative y avait exactement le même développement que dans n'importe quel tube ordinaire contenant le même gaz à la même pression, c'est-à-dire à peine quelques centimètres.

On peut donc, en rapprochant constamment l'anode,

faire disparaître successivement, sans rien altérer dans ce qui reste, toute la colonne positive, striée ou non, puis l'espace de Faraday, puis la deuxième lueur négative. Quand on arrive au voisinage de l'espace obscur de Crookes, le caractère des phénomènes change profondément : nous y reviendrons.

Les apparences lumineuses que nous venons de décrire suggèrent immédiatement l'idée que le courant n'est pas lié aux mêmes phénomènes dans les diverses parties de son parcours dans le gaz. Il était donc tout indiqué de chercher à étudier séparément chacune d'elles (1).

D'abord, ce qui était le plus important, on a mesuré les différences de potentiel par centimètre, ce qu'on appelle le *gradient* du potentiel. Le principe de la méthode est le suivant. On fait pénétrer à travers le tube, vers le milieu de sa longueur, deux tiges de platine, deux sondes, comme on les appelle, fixées perpendiculairement à la paroi et distantes par exemple d'un centimètre. On admet qu'après quelque temps, ces sondes auront le même potentiel que les points de la masse gazeuse qu'elles remplacent (2). Il suffit alors de les relier à un électromètre pour avoir la différence.

Si, maintenant, on rend mobile l'ensemble des deux

(1) Cette étude n'a pu être menée à bien que grâce à l'emploi de batteries de petits accumulateurs à haute tension : 1500 à 2000 volts. On peut aussi, à l'exemple de M. Toepler, se servir d'une machine statique d'une soixantaine de plateaux. Avec une machine plus faible, on peut, sans doute, observer tous les effets lumineux de la décharge, mais les mesures seront impossibles, parce qu'alors on devra généralement mettre une étincelle dans le circuit. Les intermittences de la décharge et l'agitation des formes lumineuses ne permettront plus aucune expérience quantitative. L'emploi de la bobine Ruhmkorff présente essentiellement le même inconvénient.

(2) Il ne faudrait pas se servir de cette méthode sans se mettre en garde contre certaines causes d'erreurs. Ainsi, il est clair que dans un courant d'ions de même signe, la charge d'une sonde ne peut varier que dans un seul sens, par l'accumulation des ions qui la frappent. Si donc on avait, dans un tel courant, une sonde accidentellement chargée à un potentiel supérieur à celui qui correspond au point qu'elle occupe dans le champ, elle ne pourrait ramener ce potentiel à la valeur convenable, et on trouverait un résultat erroné par excès.

électrodes tout en maintenant invariable leur distance mutuelle, on pourra présenter successivement aux deux sondes n'importe quelle région de la décharge. Une tige de verre portant les deux électrodes reliées par des spirales métalliques aux fils de platine soudés à la paroi, et en outre une masse de fer permettant de l'entraîner au moyen d'un aimant, remplissent parfaitement ces conditions.

On fait alors sans peine les constatations suivantes : Tout près de la cathode et de l'anode, s'observe une chute de potentiel très brusque, et constante pour un gaz et un métal donnés. On les appelle respectivement la chute cathodique et la chute anodique. La première est toujours beaucoup plus considérable que la seconde. Ainsi, par exemple, on trouve dans l'air pour des électrodes de platine 340 à 350 volts, dans l'hydrogène pour le platine 298 volts, pour l'aluminium 168. D'autre part, les mêmes métaux dans l'azote donnent à l'anode, respectivement 19 à 33 et 33 à 42 volts, la pression augmentant de 1 à 3 mm. Dans le cas de l'anode, il y a donc une influence de la pression.

La chute anodique est plus abrupte que la cathodique, c'est-à-dire qu'elle se produit dans un espace très resserré, qu'il n'a pas encore été possible de mesurer avec précision, tandis qu'à la cathode tout l'espace obscur de Crookes y est intéressé.

Il est impossible de produire une décharge, du moins du type normal étudié ici, avec une différence de potentiel inférieure à la chute cathodique, mais il suffit de dépasser cette valeur si peu que ce soit, sans qu'il soit nécessaire d'aller jusqu'à la somme des chutes cathodique et anodique. Seulement il est clair alors qu'on n'aura pas la colonne anodique complète. A mesure que la différence de potentiel augmente, la décharge passe de plus en plus facilement et l'intensité du courant croît. La chute anodique décroît alors un peu, tandis que la chute cathodique reste constante tant que la première lueur négative n'a pas entière-

ment recouvert le métal de la cathode. Cette lueur, en effet, d'abord assez étroite, s'étend à mesure que l'intensité du courant augmente. Elle s'étend aussi à mesure que la pression diminue.

En quittant l'espace de Crookes, vers l'anode, on voit le gradient tomber à une très faible valeur, puis se relever légèrement dans la seconde lueur négative, retomber presque au minimum à l'entrée de l'espace de Faraday, puis s'y relever de nouveau jusqu'à la lisière de la lueur positive. Il se maintient ensuite sensiblement à la même valeur dans toute l'étendue de la colonne positive, si longue qu'elle soit, quand elle est continue et enfin reprend une valeur très grande près de l'anode. Quand la colonne positive est striée, le gradient y subit des variations modérées, et telles qu'il soit toujours plus grand dans les tranches lumineuses que dans les stries sombres voisines.

En possession de ces données, nous pouvons à présent entreprendre d'expliquer les phénomènes au moyen de la théorie des ions, en y joignant cette hypothèse, très vraisemblable en elle-même, que l'ionisation se fait là où se manifeste la luminosité. Nous en aurons d'ailleurs une confirmation expérimentale.

Tout d'abord, la chute cathodique et la chute anodique s'expliquent fort bien par la présence dans le voisinage des électrodes d'ions de signes opposés attirés vers elles. Il y en a toujours, comme nous l'avons vu, un certain nombre présents dans l'air. Sous l'action du champ, ces ions se précipitent avec une vitesse croissante vers les électrodes. Un moment vient où leur force vive est suffisante pour *ioniser*, c'est-à-dire produire de nouveaux ions par leur choc soit contre le métal, soit plus probablement contre la couche gazeuse adhérente (1). Ce moment arrive

1) Une évaluation assez problématique donne à J. J. Thomson la vitesse $6,5 \times 10^7$ centim. par seconde comme le minimum nécessaire.

toujours plus tôt pour les ions négatifs que pour les positifs ; car nous avons vu que la vitesse des premiers est toujours supérieure à celle des seconds dans des circonstances identiques. Alors se produit sans doute la rapide augmentation de la conductibilité signalée à la page 58 dans le cas où on dépasse considérablement les valeurs du champ correspondantes au courant de saturation Mais ce n'est pas encore la décharge, ce n'en est que la phase préparatoire. Supposons maintenant que la variation du potentiel soit suffisante pour que les ions *positifs* arrivant au voisinage de la cathode puissent ioniser à leur tour au choc. C'est ce qui se produit quand la différence de potentiel totale atteint ou dépasse la chute cathodique. Alors la cathode à son tour émet des ions. Ceux-ci vont augmenter par leur choc l'émission de l'anode, laquelle réagit par suite sur la cathode et ainsi de suite, de telle sorte que le nombre des ions, c'est-à-dire l'intensité du courant transporté, croît en proportion géométrique avec une rapidité inouïe : c'est la décharge.

Mais le torrent des ions négatifs ne se contente pas d'ioniser par son choc sur l'anode. A la différence du courant positif, il ionise le long du chemin qu'il suit, grâce à sa vitesse supérieure (incomparablement supérieure dans le cas présent, c'est-à-dire à 1 m. de pression).

Suivons-le à partir de la cathode. Sur la surface même il est donc produit par le choc des ions positifs : c'est la lueur cathodique qui est le siège de cette ionisation. Les ions positifs nouveaux produits en ce point sont absorbés par la cathode avec ceux qui ont produit le choc. Les négatifs sont projetés avec une très grande vitesse, eu égard à la grande chute de potentiel en ce point, et peuvent de la sorte traverser sans beaucoup de collisions un espace notable. Cet espace n'est autre que l'espace obscur de Crookes, dont l'épaisseur est, de fait, en rapport avec le chemin libre moyen des ions. Les chocs ont lieu, la vitesse étant suffisamment ralentie, dans la

seconde lueur négative. Là, il y a ionisation abondante, et par suite luminosité, entraînement vers la cathode des ions positifs produits et nouveau ralentissement de la vitesse des négatifs par suite des échanges d'énergie au choc. Quand la vitesse est devenue trop faible pour ioniser, ils entrent dans l'espace obscur de Faraday. Là leur allure s'accélère petit à petit sous l'effet des forces du champ, et alors le même processus se répète indéfiniment jusqu'à la surface même de l'anode : c'est-à-dire qu'on aura une succession constante de régions de forte ionisation (tranches lumineuses) où s'opèrent les chocs, et de faible ionisation (tranches sombres) où se récupèrent les vitesses. Ces alternances peuvent être assez rapprochées et les valeurs des différences assez petites pour que l'œil ne les distingue plus. Alors la colonne lumineuse est ou paraît continue. On voit donc que toute la partie positive de la décharge n'est en définitive que la répétition de la deuxième lueur négative et de l'espace de Faraday, comme on l'avait d'ailleurs soupçonné depuis longtemps.

Les modifications du gradient se trouvent expliquées du même coup. Elles sont dues aux accumulations de charges soit positives soit négatives en certains points. Nous l'avons déjà montré pour les chutes cathodique et anodique. Considérons maintenant la deuxième lueur négative. Les ions négatifs y sont considérablement ralentis, et par conséquent beaucoup plus serrés que dans le voisinage de la cathode (espace de Crookes). Or, leur présence a évidemment pour effet d'abaisser le potentiel dû aux ions positifs, répartis plus uniformément dans le champ. Le gradient en sera donc diminué dans cette région. Un peu plus loin, dans l'espace obscur de Faraday, les ions négatifs ont repris une certaine vitesse, donc leur nombre redevient faible par rapport à celui des positifs, et la valeur du gradient se relève de nouveau.

Une expérience curieuse, due à Wehnelt, montre pour

ainsi dire d'une manière tangible l'effet réciproque des deux ionisations. Elle consiste à placer une tige de faible diamètre dans l'espace obscur de Crookes. On voit alors l'ombre de la tige projetée à la fois sur la cathode et sur la deuxième lueur négative. C'est qu'en effet, cette tige intercepte une partie des ions positifs qui se rendent à la cathode ; par suite, l'ionisation par les ions positifs fait défaut sur une région correspondante du métal. De là une lacune dans la colonne des ions négatifs émis par la cathode, et absence d'ionisation sur une plage de la seconde lueur négative.

Il est facile, à présent, de se rendre compte de l'action prépondérante du pôle négatif dans tous ces phénomènes. Elle tient à la vitesse et, par suite, à la faculté ionisante beaucoup plus grande des ions qu'il émet. Mais, pour les émettre, il faut qu'il soit heurté par les ions positifs avec une certaine vitesse minima. C'est celle qui correspond à la chute cathodique. Les ions négatifs sont alors chassés avec une vitesse qu'ils ne reprendront plus en aucune autre partie du champ, parce que, bien avant de l'avoir atteinte, ils se remettront à ioniser, tandis que les ions positifs, gagnés de vitesse pour ainsi dire et trouvant la besogne toute faite, ne le pourront nulle part ailleurs que sur la cathode. Voilà pourquoi les longueurs des différentes régions de la décharge sont inégales, pourquoi la couleur de la lueur cathodique diffère de celle de la colonne anodique, et enfin pourquoi l'espace sombre de Crookes ne se répète pas, tandis que tout ce qui le suit peut être reproduit autant de fois qu'on le désire, par un simple allongement du tube ou un recul de l'anode.

Il y a pourtant un moyen de répéter l'espace de Crookes, et sa réussite est encore une confirmation de la théorie. Puisque c'est une question de vitesse des ions, nous pourrions essayer de les accélérer dans une partie de leur parcours en rétrécissant convenablement la section du tube qu'ils doivent traverser, ou encore en le barrant par

un écran, conducteur ou non, percé d'un petit trou. Or l'expérience montre que dans ce cas le petit trou agit toujours comme une double électrode. D'un côté on y observe la colonne positive, et de l'autre, au moins la seconde lueur négative. Dans certains cas, on obtient aussi la première, et souvent, l'espace de Crookes. En réalité l'expérience avait précédé la théorie.

Revenons, maintenant un moment sur la supposition faite que les nœuds lumineux correspondent aux régions de plus grande ionisation et que celle-ci est toujours accompagnée de lumière. Cette hypothèse se trouve confirmée par deux ordres d'expériences sur les tubes de Geissler.

Dans le premier, on étudie la conductibilité transversale des diverses régions de la décharge. Les deux sondes de platine de l'appareil décrit plus haut conviennent très bien pour cela, mais à condition de les mettre dans un même plan perpendiculaire à l'axe du tube. Il faut ensuite les réunir, non plus à un électromètre mais au circuit d'une pile et d'un galvanomètre. L'intensité du courant obtenu dans diverses positions des deux pointes dans la décharge donnera une évaluation du nombre des ions présents dans ces régions. L'expérience est très satisfaisante : les courants obtenus montrent une accumulation d'ions précisément aux points où notre théorie nous conduit à la supposer.

Le second procédé est également favorable. Il consiste à mesurer la chaleur produite aux divers points considérés.

Un bolomètre sensible remplace alors la double sonde et on déplace de nouveau le système des deux électrodes au moyen d'un aimant. La plus forte chaleur se trouve bien, en effet, comme il fallait s'y attendre, aux sièges présumés de la plus grande ionisation, et la courbe obtenue en réunissant toutes les observations est absolument semblable à celle que donne la méthode précédente. Les températures maxima n'atteignent pas d'ailleurs 100°.

Cela ne doit pas nous surprendre, bien au contraire. Car si l'énergie de choc est transformée partiellement en vibrations calorifiques et lumineuses, il ne faut pas oublier qu'elle ne porte que sur un nombre relativement petit des molécules contenues dans le gaz. Le bolomètre n'enregistre que la résultante des effets sur un grand nombre de molécules entre lesquelles se partagent ces vibrations.

Pour passer maintenant de cette décharge type, qui se manifeste dans les gaz à des pressions de l'ordre du millimètre de mercure, aux autres modes de décharge qui nous restent à étudier, il suffit de faire varier la pression.

Nous la diminuerons d'abord de manière à atteindre le vide des ampoules de Crookes, c'est-à-dire les pressions de l'ordre du millième de millimètre, où s'observent les rayons cathodiques ; puis nous la ramènerons à la pression atmosphérique, ce qui nous fera retrouver les divers modes de décharge observés dans les circonstances ordinaires, à savoir les aigrettes, les lueurs, l'étincelle et l'arc.

A mesure qu'on fait décroître la pression, on observe un développement constant de la partie négative de la décharge, et plus particulièrement de l'espace sombre de Crookes. La partie positive recule, comme toujours, sans changement, en disparaissant progressivement vers l'anode. Un moment vient où la limite de l'espace de Crookes, avançant toujours, arrive dans le voisinage de l'anode et s'évanouit, soit que la seconde lueur négative s'affaiblisse au point de n'être plus visible, soit que l'espace sombre de Crookes occupe entièrement l'intervalle entre les deux électrodes. C'est à ce moment que les phénomènes semblent changer de nature et qu'on peut constater la présence des célèbres rayons cathodiques.

On sait que Varley, le premier, et surtout Crookes ont soutenu l'idée de la matérialité du support de l'électricité transportée par ces rayons. C'est cette idée, mieux pré-

cisée et étendue à tous les modes de décharge, que nous avons exposée dans tout ce qui précède.

Il sera inutile de nous appesantir longuement sur les propriétés des rayons cathodiques. Les voici en résumé. Ils ne se dirigent pas sur l'anode, mais droit devant eux à partir de la surface de la cathode, projetant des ombres très nettes si un obstacle solide se rencontre sur leur passage. A la rencontre du verre de l'ampoule ils produisent, comme les décharges à un vide moins poussé, une luminescence, mais d'une autre teinte. Ils sont chargés négativement, car une charge statique négative les repousse, et un champ magnétique transversal les dévie. C'est sur eux qu'a été mesuré pour la première fois, grâce à cette propriété, le rapport $\frac{e}{m}$, et la vitesse v. On a pu d'ailleurs s'assurer directement qu'ils chargent négativement tout corps qu'ils rencontrent sur leur passage. La vitesse a ici une valeur énorme, allant jusqu'à 100 000 km. à la seconde et plus. Ils échauffent les corps sur lesquels ils tombent, altèrent souvent leur constitution chimique et enfin produisent à leur contact des rayons X.

Toutes ces propriétés résultent de leur nature de charges électriques emportées par des masses égales à la millième partie de l'atome d'hydrogène avec une vitesse comparable à celle de la lumière. Il n'y a pas lieu d'insister davantage, les rayons cathodiques nous ayant servi, dans un travail antérieur, à établir les fondements de la théorie électronique.

De même, nous ne voulons pas nous étendre sur les *Kanalstrahlen* ou rayons anodiques, corrélatifs des rayons cathodiques, et qui s'observent dans les mêmes circonstances, quand la cathode est percée. Ce sont certains des ions positifs venus de la cathode ou du milieu sous l'influence ionisante des rayons cathodiques, et qui, emportés par la vitesse que leur communique la chute brusque du potentiel à la cathode, ne peuvent suivre la

courbure des lignes de force qui s'infléchissent vers les bords des trous, et les traversent en ligne droite. Leur masse se rapproche de celle de l'atome.

Augmentons à présent la pression de manière à la ramener à la pression atmosphérique. Nous retrouverons les divers modes de décharge observés dans les circonstances ordinaires, aigrettes, lueurs, étincelles et arc.

En laissant rentrer l'air dans un tube de Geissler, nous verrons diminuer progressivement l'espace occupé par la partie négative de la décharge, et spécialement par l'espace sombre de Crookes, parce que le parcours moyen libre des ions diminue quand le nombre des molécules augmente. Et comme à 1 mm. de pression l'épaisseur de cet espace ne dépasse pas 2 mm., il en résulte qu'aux pressions voisines de 760 mm., il tombe à des valeurs de l'ordre du micron. Par conséquent, on ne le distinguera plus dans les conditions ordinaires, et l'on aura affaire, dans la presque totalité de la décharge, à la colonne positive. Comme on le voit, cette différence est purement accidentelle, et le mécanisme essentiel de la décharge se maintient entièrement identique à celui que nous avons étudié.

Il y a toujours, au moment où l'on applique la différence de potentiel, attraction vers les deux électrodes des ions de signes opposés spontanément présents dans le champ ; si le gradient atteint une valeur suffisante, il y a ionisation d'abord par les ions négatifs, puis, si le gradient augmente encore, par les positifs ; à ce moment le nombre des particules conductrices croît en proportion géométrique, et le courant se développe presque instantanément. Il est facile de constater, au moyen de sondes, la chute anodique et cathodique produites, avant la décharge, par l'accumulation des ions préexistants devant les électrodes.

Mais les décharges dans l'air ordinaire affectent une

assez grande variété de formes. Il nous faudra donc les parcourir successivement.

On rencontre d'abord la décharge par pointes, ou le vent électrique. Ensuite la lueur, les aigrettes, l'arc. Sauf l'aigrette, ce sont là les formes de décharge *stables*, c'est-à-dire celles qui peuvent durer sans modification pendant un temps considérable, et en général tant que la source de courant leur est appliquée.

Il en est encore une autre, des plus importantes par ses applications, mais qui ne constitue en somme qu'une forme de transition entre les précédentes. C'est l'étincelle.

Sur la décharge par pointes il a régné trop longtemps dans la science et il règne encore dans les manuels un ensemble d'idées des plus erronées et qui n'auraient pas dû attendre pour être mises à l'écart l'avènement des théories électroniques. L'écoulement sur une pointe n'est pas dû à l'exagération de la pression électrostatique ou de la tension, et il n'est pas plus vrai qu'une pointe théoriquement parfaite ne pourrait garder aucune charge, si faible qu'elle fût. On a déterminé depuis longtemps (Röntgen, 1878) et souvent remesuré depuis ce qu'on appelle le potentiel minimum, c'est-à-dire celui au-dessous duquel il n'y a aucun écoulement d'électricité. Il varie beaucoup moins qu'on aurait pu le croire avec la finesse de la pointe. Il dépend de la nature du gaz, du signe et de la pression. Le potentiel minimum est toujours moindre sur une pointe négative que sur une pointe positive, et dans des conditions identiques le courant de la première est plus fort. Aux pressions ordinaires le potentiel minimum d'après Precht est pour l'hydrogène, où il est le plus faible, + 2125 volts ou — 1550. Dans l'air, d'après Tamm, c'est + 3760 ou — 2140. A des pressions plus faibles il peut descendre aux valeurs de la chute cathodique, dans le cas d'un courant négatif, tout en gardant des valeurs toujours un peu plus fortes pour le courant positif.

L'humidité et les poussières diminuent le courant de pointe, bien loin de le favoriser, comme on l'a prétendu autrefois.

Que signifient ces chiffres, indépendamment de toute hypothèse sur la nature du courant ? Évidemment, que la résistance apparente de l'air cède quand la différence des potentiels atteint une certaine valeur par unité de longueur. Or cette différence critique sera toujours atteinte plus vite devant une pointe que devant n'importe quelle autre partie du conducteur qui la porte, tout simplement parce que les surfaces de niveau sont beaucoup plus serrées devant la pointe que partout ailleurs.

Appliquons maintenant à cette donnée l'hypothèse des ions. Dès que le champ s'établit, les ions présents se dirigent suivant les lignes de force : ceux de signe contraire s'approchent de la pointe. Si leur vitesse est suffisante, ils peuvent ioniser par le choc. Ce n'est pas assez pour établir un courant durable. Car les ions de même signe seront bien alors repoussés par la pointe, mais une décharge continue et stable suppose que des ions de signe contraire soient sans cesse fournis par le champ. Or cela ne se peut que si les ions chassés par la pointe acquièrent assez de vitesse pour ioniser le gaz. Dans ce cas, en effet, les ions de signe contraire produits par les chocs reviendront en arrière, tandis que ceux de même signe continueront leur chemin avec ceux qui les ont créés. Voilà pourquoi, comme le montre l'expérience, les décharges des pointes, prises à quelque distance, sont convoyées presque exclusivement par les ions de même signe que la pointe, tandis que dans le voisinage de celles-ci on en trouve à peu près le même nombre des deux signes.

Les décharges ont une forme conique par suite de la répulsion mutuelle des traînées d'ions. En d'autres termes, les lignes de force sont rapidement divergentes et, par conséquent, le gradient du potentiel diminue avec la distance. Nous pouvons en conclure que, dans cette forme de

décharge, l'ionisation ne se fait que dans le voisinage immédiat de la pointe. Si donc une force électromotrice minima est nécessaire, c'est parce qu'il faut imprimer une vitesse minima aux ions qui partent de la pointe. D'où il suit immédiatement qu'il faudra aller plus loin dans cette voie pour une décharge positive que pour une négative, l'ion positif étant le plus lent des deux dans les mêmes circonstances, comme il a été dit plus d'une fois déjà dans ce travail. La décroissance simultanée de la pression et du potentiel minimum en est une autre conséquence directe, puisque la vitesse des ions augmente à mesure que le gaz est raréfié.

Le passage des ions en mouvement entraîne peu à peu l'air qu'ils traversent, d'autant plus qu'à mesure que leur vitesse première se ralentit, ils adhèrent à des molécules de plus en plus nombreuses. De là le vent électrique. Il y a aussi une action exercée en sens inverse sur la pointe. Elle se manifeste dans le phénomène bien connu des moulinets électriques. J. J. Thomson y voit la réaction de la pointe contre le mouvement imprimé à l'air. Peut-être serait-il plus satisfaisant d'y voir simplement un effet de répulsion électrostatique pour les charges de même signe qui se trouvent en nombre prépondérant dans le champ. On s'explique mieux ainsi comment la réaction sur une pointe négative est toujours moindre que sur une pointe positive, et que la différence augmente rapidement à mesure que décroît la pression. C'est qu'en effet la vitesse plus grande des ions négatifs les empêche de s'accumuler dans le voisinage autant que les positifs, et qu'en outre l'excès de vitesse des négatifs sur les positifs croît énormément quand diminue la pression.

Les intensités des courants de décharge des pointes sont faibles : elles croissent plus rapidement que le potentiel. Tamm leur assigne la valeur + 1,4 et — 0,7 micro-ampères pour ± 4000 volts à la pression normale.

L'ionisation ne se produisant que dans le voisinage de

la pointe, nous devons nous attendre à ne trouver de lumière que dans cette même région. Et, de fait, l'expérience n'en fait pas découvrir ailleurs.

Nous pouvons cependant en obtenir près de la seconde électrode, en modifiant les conditions de l'expérience. Pour avoir le courant sur une pointe on la place d'ordinaire vis-à-vis d'un disque assez grand, ou bien tout simplement à grande distance de n'importe quel conducteur. Si nous augmentons notablement la différence de potentiel en prenant soin de ne laisser en communication avec les électrodes aucune capacité importante, pour éviter les étincelles, nous pourrons obtenir sur le disque une seconde lueur, surtout quand le disque est positif. Elle est due à l'ionisation sur ce conducteur, et on s'explique sans peine comment la lueur positive est la plus facile à obtenir. C'est toujours parce que les ions négatifs, allant plus vite, ont besoin d'une moindre différence de potentiel à parcourir. On réussit aussi avec deux boules, mais alors la différence de potentiel totale nécessaire est plus grande.

On voit que, dans ce cas, la constitution de la décharge est à peu près la même que dans les tubes de Geissler.

Voici maintenant dans quelles conditions cette première forme de décharge se transforme dans les autres. Prenons une pointe comme cathode et un disque comme anode. Maintenons constantes la distance, la pression et la force électromotrice, mais faisons varier lentement l'intensité du courant en altérant la résistance extérieure. L'ionisation va alors augmenter sur la pointe, les lignes de force du champ s'y concentreront davantage, la chute de potentiel dans le voisinage deviendra plus forte et gardera plus loin la valeur minima, enfin un moment viendra où l'ionisation pourra se produire dans le sein même du gaz. A ce moment apparaît la colonne lumineuse positive qui s'appelle ici l'aigrette.

En général, cette forme de décharge est incomplète et instable. La colonne lumineuse ne réunit pas les deux électrodes, mais, après quelques millimètres de parcours en ligne droite, elle se partage en plusieurs branches lumineuses, qui vont se perdre dans l'air, dès que les ions, dans leur mouvement divergent, sont ralentis au point de ne pouvoir plus ioniser. De plus, elle est intermittente et faite en réalité, comme le montre l'observation au miroir tournant, de plusieurs décharges de directions divergentes, se suivant assez rapidement pour que leurs impressions persistent simultanément sur la rétine et donnent la sensation d'une gerbe lumineuse à ramifications multiples. En somme, nous avons affaire à des étincelles, forme de transition dont il sera reparlé plus loin.

Augmentons encore l'intensité du courant. L'aigrette, s'allongeant de plus en plus, parviendra finalement dans le voisinage immédiat de l'anode. Il arrivera généralement alors qu'en un point de celle-ci le gradient du potentiel deviendra suffisant pour l'ionisation sur le métal. Aussitôt les lignes de force, divergentes au départ de la pointe, se concentrent suivant la direction suivie par cette ionisation. Dès lors, la décharge est stable : car elle possède maintenant un siège d'ionisation à ses deux extrémités. Nous avons réalisé le courant de lueurs *(Glimmstrom)*. Il correspond à une différence de potentiel notablement moindre que le précédent et il s'accompagne des chutes cathodique et anodique caractéristiques.

Le courant de pointes peut se transformer dans cette seconde forme stable sans passer par l'intermédiaire des aigrettes. C'est même le cas normal chaque fois que le cône de la décharge n'est pas libre de s'étendre à mesure qu'on s'éloigne de la pointe. Si donc on se sert d'une anode étroite et surtout qu'on enferme tout le système dans un tube, on n'aura jamais l'aigrette.

Si on suppose maintenant des signes opposés à ceux que nous avons considérés sur la pointe et le disque, les

mêmes transformations s'opéreront, mais l'intensité de courant nécessaire pour atteindre le stade de lueur sera plus grande, à cause de la moindre puissance ionisante de l'ion positif. D'autre part, la phase de transition avec aigrettes s'établira plus tôt.

Allons plus loin encore. En augmentant toujours le courant, nous pouvons arriver à rendre la cathode incandescente et à lui faire émettre des vapeurs. A ce moment la chute cathodique disparaît et une chute beaucoup plus faible s'établit : celle de l'arc.

La différence de potentiel totale dans l'arc diminue avec la distance des électrodes et avec l'accroissement de l'intensité. Elle dépend aussi de la nature des électrodes : avec le charbon elle ne tombe pas au-dessous de 40 volts, avec les métaux elle est moindre. Elle se répartit dans l'arc à peu près comme dans les gaz chauds des flammes, c'est-à-dire qu'on observe une chute brusque à chaque électrode et une variation lente dans l'intervalle. Mais ici, chose curieuse, c'est toujours la chute anodique qui est la plus forte. Ainsi Luggin, avec un courant de 15 ampères, la trouvait de 33,7 volts à l'anode et de 8,7 volts seulement à la cathode.

On sait, depuis Violle, que la température de l'arc est extrêmement élevée, supérieure encore à celle de l'anode, qui est, avec le charbon, de 3500°. Celle de la cathode est de 2700°. L'une et l'autre se pulvérisent abondamment. D'autre part on a vu que les métaux et le charbon incandescents émettent des ions en quantité considérable, même à des températures notablement inférieures. Il est donc tout indiqué de recourir à ce phénomène pour rendre compte des propriétés de l'arc.

Voici donc, d'après J. J. Thomson, l'idée qu'on est amené à se faire de ce qui se passe dans l'arc. Les charbons chauffés par le courant émettent abondamment les ions des deux signes respectivement. Ceux-ci, traversant à

grande vitesse un milieu à haute température formé d'un mélange de gaz et de vapeur de carbone, l'ionisent fortement aussi. De là une abondance extraordinaire d'ions, lesquels allant frapper les électrodes y développent constamment assez de chaleur pour les maintenir à l'incandescence. Comme toujours, c'est la cathode qui joue le rôle principal. C'est elle qui fournit les ions les plus énergiques à ioniser le milieu. L'anode n'a d'autre fonction que de lui envoyer les ions positifs nécessaires pour maintenir son incandescence. Si bien qu'en réalisant cette incandescence par d'autres moyens que le courant lui-même, il est à prévoir qu'on pourra maintenir l'arc entre une cathode chaude et une anode froide. On a déjà réussi, en effet, à recueillir du courant entre la cathode et une seconde anode qui reste obscure.

Pour allumer l'arc, on commence généralement par mettre les électrodes en contact. Quand le courant a suffisamment chauffé les extrémités grâce à la résistance qu'il y rencontre, on peut les séparer et l'arc s'établit.

Mais on peut procéder autrement. Les électrodes étant séparées dès l'abord, on leur applique une force électromotrice beaucoup plus grande que celle qui correspond à l'arc, et capable de produire une étincelle. Produite dans un circuit ayant assez de capacité, contenant par exemple une bouteille de Leyde, l'étincelle fournit assez d'ions et échauffe assez les électrodes en un point pour permettre le développement de l'arc, qui s'entretient ensuite tout seul.

L'étincelle est la forme de décharge à la pression ordinaire qui a été l'objet du plus grand nombre de travaux, tant à cause de ses multiples applications pratiques, que pour ses remarquables propriétés. Cependant ce n'est pas une forme de décharge stable. Elle n'est autre chose que la phase initiale d'une des formes stables, soit la lueur soit l'arc, lorsque, le potentiel nécessaire étant atteint, la source n'est pas suffisante pour maintenir le courant nécessaire à

son entretien. Elle doit donc posséder toutes les parties que nous avons distinguées dans la décharge normale : couche ionisante sur les deux électrodes et colonne positive le long de laquelle les ions négatifs ionisent par le choc. Les diverses phases s'y succèdent avec une telle rapidité que la durée totale du phénomène est suffisamment petite pour permettre des oscillations électriques. A cause de cette instantanéité et de l'extrême resserrement des diverses parties de la décharge aux pressions ordinaires, il n'a pas encore été possible d'étudier directement les processus d'ionisation dans cette forme de décharge.

La durée de l'étincelle dépend de la capacité des électrodes, de leur self-induction, et de leur résistance.

La capacité a un autre effet encore. Quand elle est faible, l'étincelle est peu lumineuse et rougeâtre : pour une capacité plus forte, le trait lumineux devient plus vif et de couleur blanc bleuâtre. Enfin quand la quantité d'électricité qui passe dans la décharge croît encore, l'étincelle s'entoure d'une gaine rougeâtre appelée l'auréole. En définitive, les propriétés de l'étincelle se rapprochent de plus en plus de celles de l'arc, à mesure que la quantité d'électricité qui la traverse augmente.

Le spectroscope fait reconnaître dans l'étincelle les raies des métaux des électrodes, et en outre celles de l'air ou en général du gaz dans lequel se produit la décharge disruptive. Dans la lueur, au contraire, et dans les tubes de Geissler on ne trouve que le spectre du milieu. Cela prouve que, dans l'étincelle, l'électricité n'est pas seulement transportée par les ions du gaz, mais aussi par des parcelles arrachées au métal. L'observation directe confirme d'ailleurs ce fait.

La différence de potentiel nécessaire pour obtenir une décharge explosive dépend d'une foule de conditions. Et d'abord, il faut s'entendre sur cette différence de potentiel nécessaire. Car il y en a deux. Il y a d'abord le potentiel initial, c'est-à-dire celui qui doit exister dans une distance

explosive pour que la *première* étincelle y passe. Il y a ensuite le potentiel explosif minimum, c'est-à-dire le plus élevé qu'on puisse appliquer indéfiniment sans provoquer la décharge. Le premier est toujours plus élevé que l'autre.

Cette différence résulte, dans la théorie ionique, de ce que l'étincelle proprement dite est précédée d'un stade préliminaire pendant lequel les ions préexistants doivent être amenés dans le voisinage des électrodes pour en produire d'autres par leur choc. Or, quand on fait éclater une suite d'étincelles, la première laisse le champ très riche en ions après son passage, de telle sorte que les autres en sont notablement facilitées.

Ce phénomène se présente aussi sous la forme d'un retard à la décharge, quand on n'applique qu'un potentiel légèrement supérieur au potentiel minimum. L'étincelle n'éclate pas immédiatement. Le champ doit se préparer. Mais on peut supprimer ce retard, ou du moins le rendre insensible, en fournissant les ions d'une autre manière. On réussit très bien, par exemple, en faisant tomber de la lumière ultra-violette sur la cathode.

La relation entre la distance explosive et la différence de potentiel a été étudiée par de nombreux physiciens. Elle est malheureusement loin d'être simple, ou du moins on n'a pas suffisamment réussi jusqu'à présent à séparer les diverses influences qui la modifient. A une même pression la différence de potentiel croît avec la distance explosive d, mais plus lentement. La loi semble être voisine de la forme $V = a + bd$, a et b étant des constantes, non encore déterminées avec certitude. Le potentiel est moindre quand le rayon de courbure est petit, ce qui correspond bien à la facilité avec laquelle l'ionisation se fait quand les surfaces de niveau se resserrent, comme devant les pointes.

Si l'on fait varier la pression du gaz, la distance explosive demeurant invariable, on trouve que le potentiel

explosif varie proportionnellement à la pression, sauf quand celle-ci devient de l'ordre du millimètre de mercure. Quand on pousse le vide au delà de cette pression critique, les potentiels se relèvent rapidement et tendent vers l'infini. Donc dans le vide absolu l'électricité ne passerait pas. De fait, puisque dans ce cas il n'y a pas d'ions dans le champ, notre théorie le demandait.

Paschen a découvert une autre loi importante reliant la pression et le potentiel : c'est que le potentiel explosif ne dépend que du produit de la pression et de la distance explosive ; de telle sorte que, quand ce produit est constant, c'est-à-dire quand le nombre des molécules situées entre les électrodes est le même, le potentiel est invariable dans toutes les variations corrélatives des deux facteurs. Comme, d'autre part, le parcours libre moyen des molécules est inversement proportionnel à la pression, on peut dire aussi que le potentiel dépend du rapport $\frac{d}{\lambda}$ de la distance explosive au parcours libre moyen.

Toutes ces lois sont applicables tant que la distance explosive n'est pas très petite. Quand cette condition n'est plus satisfaite, on obtient des phénomènes singuliers.

Nous venons de dire que, à mesure qu'on diminue la pression, on voit baisser le potentiel explosif, et cela jusqu'à ce qu'il atteigne une valeur critique, au delà de laquelle il se relève rapidement. Ceci supposait que la distance explosive était laissée constonte.

Inversement, laissons à présent la pression constante et diminuons insensiblement la distance explosive. Le potentiel explosif va décroître constamment jusqu'au moment où il atteindra ou sera près d'atteindre la valeur de la chute cathodique, soit 340 volts environ dans l'air. Si nous continuons à rapprocher les électrodes, nous constatons qu'à partir de ce moment le potentiel explosif croît quand la distance diminue. Ce résultat paradoxal a été

étudié récemment par Carr. Il a lieu à toute pression ; mais, comme à la pression atmosphérique la valeur critique dans l'air correspond à 0,01 mm., les expériences y sont trop difficiles. Voici deux mesures faites à des pressions plus faibles.

Distance explosive	Potentiel explosif	
1 mm.	558 volts	1826 volts
2	371	594
3	357	397
5	376	355
10	472	379

La pression était de 2,02 mm. dans le cas de la deuxième colonne, de 1,05 mm. pour la troisième.

Examinons dans l'obscurité les tubes qui donnent ces résultats. Le changement d'aspect dans la décharge sera aussi frappant que la comparaison des nombres. Et il nous mettra aussitôt sur la voie de la solution. A partir du moment où l'inversion a lieu, l'anode s'est trouvée dans l'espace sombre de Crookes. Aussitôt toute lumière disparaît *entre* les électrodes, et la décharge se fait du dos de l'une vers le dos ou la tranche de l'autre, en contournant les bords. La distance entre les électrodes est devenue trop petite pour que la décharge normale puisse s'y développer. Les ions négatifs (rayons cathodiques) rencontreraient l'anode avant d'avoir pu ioniser, s'ils se dirigeaient en ligne droite suivant le champ. Voilà pourquoi la décharge devient plus difficile.

Qu'arrive-t-il si on diminue néanmoins encore la distance entre les électrodes ? On rencontrera nécessairement un maximum de potentiel explosif, puisque la valeur de cette constante redevient zéro au contact. Il existe une recherche à ce sujet, celle de Earheart. Ce savant s'est servi de *sphères* d'acier poli. Il résulte de là que les différences de potentiel observées par lui ne sont pas exactement celles des étincelles qu'on obtiendrait à la

distance minima des sphères. Car, dans ces conditions, l'étincelle n'éclate jamais suivant le plus court chemin, puisqu'on lui en laisse ouverts une infinité d'autres où la distance est plus grande et par conséquent le potentiel moindre.

Les résultats présentent néanmoins un haut intérêt, et font désirer que ces sortes de déterminations soient reprises et étendues. Voici ce que nous apprenons par ces premières mesures de Earheart.

Le potentiel explosif, après avoir crû, une fois la distance correspondante au potentiel minimum dépassée, atteint un maximum, puis décroît lentement. Quand la distance explosive arrive aux environs de 3 microns, il a repris sensiblement cette même valeur minima, puis brusquement il se met à décroître rapidement, et, autant qu'il a été possible d'en juger, il devient proportionnel à la distance. Les mesures ont pu être poussées jusqu'à 0,3 μ. A ce moment le potentiel était 32 volts. L'allure générale est la même à toute pression comprise entre 15 cm. de mercure et 3 atmosphères. Les valeurs du potentiel croissent avec la pression.

J. J. Thomson suggère de ce fait l'explication suivante. Les électrons du métal font effort pour s'en échapper. Ce qui les maintient dans les circonstances ordinaires, c'est l'attraction électrostatique qui s'exerce sur eux du moment que, par leur départ, ils ont laissé le métal chargé en signe contraire. Différentes causes extérieures peuvent la vaincre. Nous avons rencontré en ce genre les impulsions ultra-violettes, les rayons Rœntgen et le choc d'électrons du gaz. Mais on peut supposer que la force d'un champ suffisant pourrait aussi avoir cet effet. Et un calcul grossièrement approché montre que l'intensité des champs d'un million de volts par centimètre mis en œuvre dans les expériences de Earheart serait effectivement de l'ordre de grandeur de l'attraction électrostatique. Les ions négatifs quitteraient donc la cathode et se rendraient

directement à l'anode sans acquérir assez de vitesse pour ioniser le gaz. Les ions positifs n'auraient aucune part à ce genre de décharge. Il faut remarquer que dans cette explication il s'agirait des électrons du métal et non de ceux du gaz ; ces derniers entreraient seuls en jeu dans les décharges ordinaires.

Cette étude a été reprise tout récemment et les mesures poussées plus loin encore par P. E. Shaw à la Société Royale de Londres. Ses conclusions générales sont les mêmes que celles de Earheart : le potentiel explosif reste proportionnel à la distance, même pour des valeurs inférieures à 1 volt. Celle-ci correspond à 0,01 micron. Celle de 0,2 volt, la dernière mesurée, à 0,002 micron.

Des déterminations de ce genre sont très intéressantes, et leur portée est plus générale que la question de la relation entre le potentiel explosif et la distance. Il est à souhaiter qu'on les reprenne et qu'on les étende.

Le lecteur qui aura eu la patience de me suivre jusqu'ici aura pu se convaincre de la souplesse et de la compréhension de la théorie ionique. Et encore, qu'il veuille bien remarquer que j'ai dû nécessairement passer sur les formules établies d'après les hypothèses fondamentales de cette théorie et sur leurs vérifications expérimentales, sur l'accord des diverses mesures faites par des savants différents et suivant des méthodes indépendantes, toutes choses essentielles pour l'établissement d'une bonne théorie. Elles se trouvent à un degré très satisfaisant dans le stade de développement auquel est parvenue celle-ci, et, si des progrès ultérieurs doivent la faire disparaître devant une hypothèse qui pénètre dans des profondeurs plus intimes des phénomènes, elle aura eu du moins le mérite de nous avoir procuré pour la première fois la satisfaction de coordonner nos connaissances, si disparates autrefois, sur les décharges dans les gaz. Elle en a même de plus grands, si on la compare à l'état général de nos

connaissances sur l'électricité et, pour ne point paraître exagérer, je laisse à J. J. Thomson lui-même le soin de les exposer.

« L'étude des propriétés électriques des gaz, dit-il dans sa préface, semble offrir le meilleur champ d'expérience pour arriver à pénétrer la nature de l'électricité et la constitution de la matière. Grâce, en effet, à la théorie cinétique des gaz, nos idées sur les phénomènes, autres que les phénomènes électriques, qui se passent dans les gaz sont beaucoup plus nettes et plus précises que pour les liquides et les solides. En conséquence, le travail a marché très rapidement, et je pense qu'on peut légitimement prétendre que notre connaissance et notre pénétration de ce qui se passe quand l'électricité traverse un gaz sont plus parfaites que dans le cas des solides ou des liquides. La présence d'une charge sur les ions augmente si considérablement la facilité de les suivre et d'étudier leurs propriétés que, comme le lecteur le verra, nous savons beaucoup plus sur l'ion que sur la molécule neutre. »

V. Schaffers, S. J.

LES ORIGINES DE LA STATIQUE [1]

Chapitre XI

GALILEO GALILEI

(1564-1642)

Ce fut longtemps un pauvre hère que Galilée. A vingt-cinq ans, en 1589, il était dans la misère ; ses amis obtinrent pour lui une chaire de mathématiques à l'Université de Pise, avec un traitement annuel de soixante écus. Muni de pareilles ressources, il lui fallait subvenir aux besoins d'une nombreuse famille dont, par la mort de son père, il était devenu le seul soutien. Encore, après trois ans, perdit-il cette maigre sportule, parce qu'il avait froissé l'amour-propre d'inventeur de Jean de Médicis. Dans l'été de 1592, Galilée se rendit à Venise ; la malle qu'il emportait en quittant Florence ne pesait pas cent livres ; elle renfermait tout son avoir (2).

Ce dénûment profond ne permettait guère à Galilée de trouver un éditeur pour ses écrits ; lorsqu'en 1606 il fit imprimer son premier livre, qui a trait au compas de proportion, il professait depuis dix-sept ans et avait déjà fait de nombreuses découvertes.

A défaut de libraire, il faisait ou faisait faire des copies

(1) Voir Revue des Questions scientifiques, octobre 1903, p. 463, avril 1904, p. 560, juillet 1904, p. 9, et octobre 1904, p. 394.

(2) Libri, *Histoire des Sciences mathématiques en Italie*, Paris, 1841 ; t. IV, pp. 176-180.

de ses écrits, et il envoyait ces copies à ses amis, en Italie ou hors de l'Italie. Il garda, d'ailleurs, cette habitude jusqu'à la fin de sa vie. Lorsqu'en 1636 il eut terminé ses célèbres *Discorsi*, au lieu de les faire imprimer, il en fit circuler par l'Europe savante des exemplaires manuscrits.

Parfois, ceux qui obtenaient copie d'une œuvre du grand géomètre ne voulaient point garder pour eux seuls la connaissance des découvertes qui excitaient leur admiration, et ils livraient à l'imprimeur le manuscrit de Galilée ; ainsi, en 1634, Mersenne publia une traduction française des *Méchaniques*, alors que le traité italien ne devait être imprimé qu'après la mort de Galilée ; en 1636, un exemplaire manuscrit des *Discorsi* de Galilée étant parvenu, à Paris, entre les mains de M. Conte, celui-ci ne voulut pas frauder le monde d'un tel trésor et en communiqua une copie aux Elzévirs, les grands imprimeurs de Leyde, qui l'éditèrent en 1638 (1).

Mais la plupart des ouvrages communiqués en manuscrit par Galilée avaient un sort moins heureux ; leurs seuls éditeurs étaient les lecteurs peu scrupuleux qui y glanaient plus d'une idée neuve et se les appropriaient sans vergogne. Plusieurs de ces manuscrits ont été publiés après une attente séculaire ; d'autres ont été perdus.

Grâce à ces diverses circonstances, il est parfois difficile de suivre la marche progressive de la pensée de Galilée et de marquer l'influence exercée sur les savants contemporains par la diffusion de cette pensée. Toutefois, l'étude attentive des nombreux documents que nous possédons aujourd'hui nous permet de retracer les principales étapes par lesquelles Galilée est parvenu à ses découvertes en Mécanique, et notamment en Statique.

Passons en revue les sources où nous puiserons pour

(1) Viviani, *Vita di Galileo Galilei*, cavati da FASTI CONSOLARI DAL L'ACCADEMIA FIORENTINA di Salvino Salvini. Firenze, MDCCXVII.

connaître ce que le développement de la Statique doit à Galilée.

1° Le fragment le plus ancien que nous possédions est assurément un *Commentaire au De Caelo* d'Aristote, conservé en manuscrit à Florence et demeuré inédit jusqu'à l'*Édition nationale* des œuvres de Galilée qui, en 1888, a fait connaître cet opuscule (1). Ce travail, écrit en latin, n'intéresse notre objet qu'en un seul point : il nous montre qu'à l'époque où il fut composé, Galilée était encore fidèle péripatéticien, bien qu'il ait déjà lu et qu'il cite le *De Subtilitate* de Cardan (2) et les *Exercitationes* de Scaliger (3); les pensées de ces auteurs ne sont agréées par lui qu'autant qu'elles s'accordent avec la tradition de l'École; c'est à cette tradition, et non aux argumentations de Cardan contre le mouvement perpétuel, qu'il emprunte ces deux aphorismes (4) : *Motus simplex terminatur ad quietem. Nullum violentum potest esse perpetuum.*

2° L'*Édition nationale* des œuvres de Galilée a fait connaître également deux rédactions, conservées manuscrites à Florence, d'un traité latin *De Motu* (5). L'étude de ce traité a une grande importance ; on y voit naître les premières idées de Galilée sur la Statique, l'Hydrostatique, la Dynamique.

3° Une partie de ce traité latin *De Motu* fut reprise par Galilée et rédigée, toujours en latin, sous la forme de dialogue, forme pour laquelle il montra toute sa vie une grande prédilection. Ce dialogue fut publié pour la première fois dans le tome XI de l'édition en 16 volumes des

(1) Cet opuscule se trouve aussi dans l'édition suivante : *Le Opere di Galileo Galilei*, ristampate fedelmente sopra la Edizione nazionale con approvazione del Ministerio della publica Instruzione. Vol. 1 (seul paru). Firenze, Successori Le Monnier, 1890.

(2) A la p. 122 de l'édition précédente.

(3) Aux pp. 76 et 77 de l'édition précédente.

(4) A la p. 61 de l'édition précédente.

(5) Ces deux rédactions *De Motu* se trouvent également au vol. 1 de l'édition de 1890.

œuvres de Galilée qu'Alberoni donna à Florence (1842-1856) (1).

4° Dans tous ses traités *De Motu*, Galilée a longuement discouru des corps solides flottants sur un liquide ; les idées qu'il avait émises sont développées dans l'écrit intitulé : *Discorso al Serenissimo Don Cosimo II, Gran Duca di Toscana, intorno alle cose che stanno in su l'acqua, o che in quella si muovono, di* Galileo Galilei *Filosofo e matematico della medesima Altessa Serenissima* (Discours au Sérénissime Don Côme II, Grand Duc de Toscane, sur les corps qui flottent sur l'eau ou qui se meuvent dans son sein, par Galileo Galilei, Philosophe et mathématicien de ladite Altesse Sérénissime). Cet écrit, imprimé à Florence en 1612, ne renferme pas seulement l'exposé des théories hydrostatiques de Galilée ; il contient la première définition d'une notion, celle du *momento*, dont l'importance est grande dans la Statique de l'illustre géomètre.

5° Sous le nom de *Mécanique*, Galilée entend l'étude des machines simples ; sa Mécanique nous est aujourd'hui connue sous trois formes différentes.

La première se trouve en un manuscrit, de la main de Galilée, qui fut la propriété du prince Hermann de Fürstenberg, disciple du P. Kircher, à Rome, en 1646, et qui, transporté par lui en Allemagne, est conservé aujourd'hui à Ratisbonne, dans les Archives de la famille de Tour-et-Taxis. Ce manuscrit est le résumé des leçons faites par Galilée à l'Université de Padoue, en 1594, comme l'indique son titre : *Delle Meccaniche lette in Padova dal S^r* Galileo Galilei *l'anno 1594*. Il a été publié en 1899 par M. A. Favaro (2).

6° En 1634, le P. Marin Mersenne, religieux minime, publiait à Paris, chez Henry Guenon, un petit volume

(1) Ce dialogue *De Motu* est reproduit au vol. I de l'édition de 1890.

(2) *Delle Meccaniche lette in Padova l'anno 1594* da Galileo Galilei, per la prima volta pubblicate ed illustrate da Antonio Favaro (MEMORIE DEL R. ISTITUTO VENETO DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI. Vol. XXVI, n° 5, 1899).

composé de trois ouvrages. Deux de ces ouvrages, les *Préludes de l'Harmonie universelle* et les *Questions théologiques, physiques, morales et mathématiques* étaient des écrits originaux du laborieux et fécond religieux ; le troisième était formé par les *Méchaniques* de Galilée, traduites d'après un manuscrit italien (1) ; cet ouvrage est beaucoup plus développé que le manuscrit publié par M. A. Favaro.

7° Aucune édition italienne des *Méchaniques* ne fut imprimée du vivant de Galilée. C'est seulement en 1649 que le chevalier Luca Danesi fit imprimer, à Ravenne, l'ouvrage intitulé : *Della Scienza Meccanica, e della utilità che si traggono dagl' instrumenti di quella ; opera del Signor* Galileo Galilei, *con uno frammento sopra la forza della percossa* (De la Science Mécanique et de l'utilité que l'on peut tirer de ses instruments ; œuvre du Seigneur Galileo Galilei, avec un fragment sur la force de la percussion).

Cet ouvrage présentait, sous une forme plus développée, tout ce que contenaient les *Méchaniques* traduites par Mersenne ; il renfermait en outre, comme nous le verrons, certaine addition importante.

Toutes les éditions des œuvres de Galilée comprennent ce traité *Della Scienza Meccanica.*

8° En 1632, parut à Florence le célèbre *Dialogo* di Galileo Galilei *delle due massimi Sistemi del Mondo, il Ptolemaico et il Copernicano* (Dialogue de Galileo Galilei sur les deux grands Systèmes du Monde, le système de Ptolémée et le système de Copernic), qui devait, le 22 juin 1633, valoir à son auteur la condamnation du Saint-Office. En la seconde journée de ce Dialogue, Galilée est amené

(1) *Les Méchaniques de Galilée*, Mathématicien et Ingénieur du Duc de Florence, avec plusieurs additions rares et nouvelles, utiles aux Architectes, Ingénieurs, Fonteniers, Philosophes et Artisans ; traduites de l'italien par L. P. M. M. ; à Paris, chez Henry Guenon, ruë S. Jacques, près les Jacobins, à l'image S. Bernard. MDCXXXIV.

à traiter incidemment des principes de la Statique et, particulièrement, de l'équilibre du levier.

9° Nous avons dit comment, chez les Elzévirs, Conte avait fait imprimer, en quelque sorte par surprise, l'ouvrage qui parut sous ce titre : *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla Meccanica, ed ai movimenti locali ; di* Galileo Galilei, *Linceo, filosofo e matematico primario del serenissimo Gran duca di Toscana ; Leida, Elsevirii, 1638* (Discours et démonstrations mathématiques au sujet de deux nouvelles sciences relatives à la Mécanique et aux mouvements locaux, par Galileo Galilei, membre de l'Académie des *Lincei*, premier philosophe et mathématicien de son altesse sérénissime le Grand duc de Toscane ; Leyde, les Elzévirs, 1638).

Cette édition ne renfermait presque rien qui intéressât la Statique. Dans les éditions des *Discorsi* qui furent publiées plus tard et dont la première fut imprimée à Bologne en 1655, on trouve au contraire deux passages qui ont trait à cette science.

Le premier de ces passages est le *Scholium* adjoint au Théorème II, Proposition II, de la *troisième journée*, scholie où l'interlocuteur Salviati donne la théorie du plan incliné ; ce scholie, dont il sera longuement question au Chapitre XV, fut rédigé par Galilée vers la fin de sa vie et envoyé par lui, le 3 décembre 1639, au P. Castelli, pour être joint à la *giornata terza* des *Discorsi* lorsqu'on en ferait une nouvelle édition.

Le second de ces passages se trouve en la *giornata sesta, della forza della percossa* (sixième journée, de la force de la percussion). Or, la première édition des *Discorsi* contenait seulement les trois premières journées ; tout ce qui suit ces trois journées fut composé par Galilée après 1636 et fut imprimé tout d'abord, par les soins de Viviani, dans la première édition des *Opere di* Galileo Galilei, en 1655.

Au travers des écrits que nous venons d'énumérer,

suivons le progrès des doctrines professées en Statique par Galilée.

Dès son premier travail *De Motu*, nous voyons Galilée invoquer l'impossibilité du mouvement perpétuel comme un axiome de Statique ; il en fait usage pour prouver qu'un solide de même densité que l'eau demeurera en équilibre au sein de cette eau. « J'ajoute (1) qu'il ne montera ni ne descendra ; mais, en quelque endroit qu'on le place, il y demeurera. Il n'y a, en effet, aucune raison pour qu'il monte ; comme nous le supposons de même pesanteur que l'eau, dire qu'il descend au sein de l'eau équivaudrait à dire que de l'eau, au sein de l'eau, descend sous l'eau, et que l'eau qui monte au-dessus de celle-ci, descend à son tour ; l'eau continuerait ainsi à descendre et à monter alternativement, *quod inconveniens est.* »

Cette croyance à l'impossibilité du mouvement perpétuel a pu être puisée dans la lecture du *De Subtilitate* de Cardan; elle peut aussi être tirée des axiomes scolastiques selon lesquels le mouvement naturel tend au repos et le mouvement violent va se dissipant ; car ces axiomes, dont l'argumentation de Léonard n'est que le développement et le rajeunissement, Galilée les formulait dans son commentaire au *De Caelo*.

L'influence de Cardan et, par lui, de Léonard de Vinci se marque plus nettement dans l'interprétation du principe d'Archimède que Galilée repète, avec de menues variantes, dans ses deux rédactions du *De Motu* et dans son dialogue sur le même sujet, qu'il reprendra d'une manière plus detaillée dans son *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua*. Nous aurions à discuter ici cette interprétation, qui constitue une sorte d'application grossière et erronée du principe des déplacements virtuels, si nous ne remettions à une autre occasion l'étude des origines de l'Hydrostatique.

(1) *Le Opere di* Galileo Galilei, Florence, 1890, vol. I, p. 256.

Mais l'influence de Cardan apparaît d'une manière incontestable, lorsque Galilée aborde l'étude du plan incliné ; et, bien que Galilée, dans ses écrits *De Motu*, ne mentionne aucun ouvrage du médecin milanais autre que le *De Subtilitate*, on admettrait difficilement qu'il n'eût pas lu également l'*Opus novum* ; comment pourrait-on, en effet, ne point songer au fragment de l'*Opus novum* que nous avons cité à la fin du Chapitre III, lorsqu'on lit le passage suivant (1) : « Soit *ab* (fig. 69) une ligne menée vers le centre

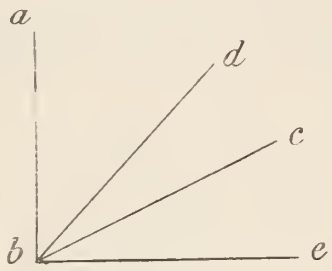


fig. 69.

du monde et perpendiculaire au plan horizontal ; soit *be* une ligne tracée dans le plan horizontal ; du point *b*, menons des lignes, en nombre quelconque, *bd*, *bc* qui fassent avec la ligne *be* des angles aigus. On demande pourquoi un mobile qui descend a, selon la ligne *ab*, la chute la plus rapide ; selon *bd*, une chute plus rapide que selon *bc*, mais moins rapide que selon *ba* ; par *bc*, une chute moins rapide que par *bd* ; on demande, en outre, de combien est plus rapide la chute par *ba* que la chute par *bd*, et celle-ci que la chute par *bc*. Pour résoudre ces questions, il nous faut tout d'abord faire cette remarque déjà signalée ci-dessus. Il est manifeste qu'un grave est entraîné vers le bas par une force égale à celle qu'il faudrait employer pour le tirer vers le haut ; en d'autres termes, il est entraîné vers le bas par une force égale à la résistance qu'il oppose à la

(1) *Le Opere di* Galileo Galilei, Florence, 1890, vol. I, p. 296.

montée. Si donc nous trouvons de combien la force qui tirerait le grave en haut par la ligne *bd* est inférieure à la force qui le tirerait par la ligne *ba*, nous saurons aussitôt de combien la force qui fait tomber le même grave par la ligne *ab* est supérieure à celle qui le fait tomber par la ligne *db*. »

Si Galilée a emprunté à Cardan cette introduction à l'étude du plan incliné, il a de beaucoup surpassé son prédécesseur dans l'analyse du problème ; celui-ci s'était contenté d'une induction qui lui avait fourni une solution inexacte ; celui-là, par une intuition ingénieuse, parvient à la loi exacte.

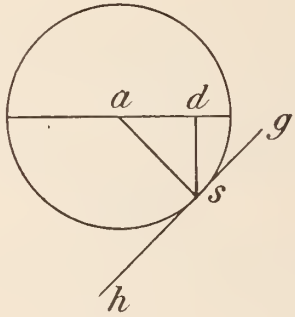


fig. 70.

Imaginons un poids concentré à l'extrémité d'une droite mobile autour du point *a* (fig. 70) et supposons cette droite amenée en *as* ; le poids se mouvra suivant une circonférence de centre *a* et de rayon *as* ; menons en *s* la tangente *gh* à la circonférence. Au moment où le poids, placé en *s*, commencera à descendre suivant l'arc de cercle qui part de ce point, nous pourrons le traiter comme s'il descendait suivant la tangente *gh* ; en sorte que la force qui ferait descendre le mobile suivant la ligne inclinée *gh* est égale à celle qui tend, à partir du point *s*, à lui faire descendre l'arc de cercle : « Quando mobile (1) erit in

(1) *Le Opere di* Galileo Galilei, Florence, 1890, vol. I, p. 297.

puncto *s*, in primo puncto *s* suus descensus erit veluti per lineam *gh*; quare mobilis per lineam *gh* motus erit secundum gravitatem quam habet mobile in puncto *s*. »

Une fois admise cette audacieuse et féconde intuition, le problème du plan incliné est résolu; la théorie que Cardan, que Benedetti ont tirée des notes de Léonard de Vinci, ou des manuscrits de son Précurseur, édités par Curtius Trojanus — théorie qu'ils ont exposée dans leurs divers ouvrages — suffit à en achever la solution ; cette théorie nous apprend, en effet, que la force qui sollicite le poids situé en *s* à se mouvoir suivant la circonférence de cercle est proportionnelle à la projection *ad* de la ligne *as* sur l'horizon ; des considérations élémentaires montrent alors que la gravité qui entraîne un mobile sur un plan incliné est à la gravité qui détermine sa chute libre, comme la hauteur du plan est à la longueur de sa ligne de plus grande pente ; en d'autres termes, le rapport de ces deux gravités est le *sinus* de l'angle que le plan fait avec l'horizon.

Le problème du plan incliné, dont Galilée avait ainsi obtenu la solution, était, vers la même époque, l'objet des efforts d'un autre géomètre ; en 1586, Simon Stevin, de Bruges, en publiait également la solution dans ses *Éléments de Statique*. Stevin avait-il précédé Galilée ? l'avait-il suivi ?

Les diverses rédactions du *De Motu* de Galilée ne sont pas datées ; la plus ancienne se place-t-elle, dans le temps, avant ou après les *Beghinselen der Weeghconst ?* Il semble malaisé de décider ce point. Mais, assurément, ni le géomètre de Bruges, ni le géomètre de Florence n'avait connaissance, en poursuivant ses recherches, de la méthode essentiellement différente par laquelle son émule tendait au même but.

A quoi bon, d'ailleurs, s'attarder à trancher cette discussion de priorité ? Nous savons, en effet, que Stevin et Galilée avaient été tous deux devancés, de plus de trois

siècles, par le Précurseur de Léonard de Vinci ; que la belle solution obtenue par ce grand géomètre venait d'être publiée dans les cinq éditions des *Quesiti* de Tartaglia et dans le *Jordani de ponderositale* imprimé par Curtius Trojanus.

Nous n'avons pas encore tiré de la lecture du *De Motu* tous les enseignements qu'elle nous peut donner.

Après avoir été franchement péripatéticien, alors qu'il écrivait son commentaire du *De Caelo*, Galilée maintenant argumente sans relâche contre la Physique d'Aristote ; il n'en résulte pas qu'il ait tout dépouillé de cette Physique; en particulier, il conserve soigneusement l'axiome fondamental sur lequel repose la Dynamique du Stagirite, la proportionnalité entre la force qui meut un corps et la vitesse qui anime ce corps : « Il faut observer, dit-il (1), que la vitesse ne diffère pas du mouvement ; qui pose le mouvement, pose la vitesse, et la lenteur n'est qu'une moindre vitesse. Donc, ce qui produit le mouvement produit aussi la vitesse ; lors donc que le mouvement provient de la gravité ou de la légèreté, il est nécessaire que la lenteur ou la vitesse aient la même origine ; d'une gravité plus considérable découle une plus grande rapidité du mouvement produit par la gravité du mobile, c'est-à-dire du mouvement vers le bas ; d'une gravité moindre découle une plus grande lenteur du même mouvement. »

Assurément, Galilée n'enseigne plus, comme Aristote, qu'un poids de dix livres tombe dix fois plus vite qu'un poids d'une livre ; il enseigne que dans un même milieu, des poids, grands ou petits, formés d'une même substance, tombent avec la même vitesse. Cette proposition est erronée ; elle n'est nullement adéquate à la loi qu'il proposera dans ses *Discorsi* : « Tous les corps tombent dans le vide avec la même vitesse. » Cette affirmation erronée,

(1) *Le Opere di* Galileo Galilei, Florence, 1890, vol. I, p. 260.

Galilée l'a sûrement lue dans l'*Opus novum* de Cardan, qui, comme Taisner, l'avait sans doute empruntée à J.-B. Benedetti ; Galilée a dû aussi la lire dans Benedetti, dont il imite les raisonnements. Mais cette affirmation ne contredit pas l'axiome rappelé plus haut ; si dix livres de plomb tombent avec la même vitesse qu'une livre de plomb dans l'air où elles ont été pesées toutes deux, c'est simplement parce que la force décuple a à mouvoir un corps dix fois plus volumineux. « De là découle, dit Galilée (1), qui reproduit encore en ce point l'opinion de Benedetti, la solution de cette question : Quel est le rapport des vitesses, au sein d'un même milieu, de deux mobiles de même volume, mais de pesanteur différente ? Les vitesses de tels mobiles seront entre elles comme les excès des pesanteurs spécifiques de ces mobiles sur la pesanteur spécifique du milieu. »

Sur deux plans inclinés différents, un même mobile a des poids dont le rapport a été déterminé ; dès lors l'axiome d'Aristote nous fera connaître le rapport des vitesses avec lesquelles ce mobile glissera le long de ces deux plans, car ce sera précisément le rapport de ces deux poids : « Il est donc certain (2) que les vitesses d'un même mobile descendant selon diverses inclinaisons seront inversement proportionnelles aux longueurs des descentes obliques qui correspondent à une même hauteur de chute ».

Ces principes, Galilée s'y tient dans le dialogue *De Motu* qu'il rédigea plus tard. Il y maintient que, dans un même milieu, deux mobiles d'égal volume tombent avec des vitesses qui sont entre elles comme les excès des pesanteurs spécifiques des mobiles sur la pesanteur spécifique du milieu (3), en sorte que, dans le vide, les vitesses de

(1) *Le Opere di* Galileo Galilei, Florence, 1890, vol. I, p. 272. — Cf. *Ibid.*, p. 296.
(2) *Ibid.*, p. 301.
(3) *Ibid.*, p. 401.

ces mobiles sont entre elles comme leurs pesanteurs spécifiques (1).

L'axiome d'Aristote, dont nous voyons Galilée si fortement pénétré en ses premiers écrits sur le mouvement, va guider toutes ses recherches de Statique et en faire le défenseur des idées qu'a émises le philosophe de Stagire, qu'ont développées Léonard de Vinci et Cardan. Cet axiome, en particulier, va lui inspirer une notion qui joue, en toute sa Mécanique, un rôle essentiel, la notion de *momento* (2).

Une même puissance qui peut mouvoir un grave avec une certaine vitesse, peut, selon l'axiome d'Aristote, mouvoir un corps deux fois plus lourd, mais avec une vitesse deux fois moindre ; ce qui caractérise cette puissance, ce n'est donc ni la grandeur du grave qu'elle met en branle, ni la vitesse qu'elle lui communique ; c'est le produit de ces deux facteurs ; pour une même puissance chacun des deux facteurs peut varier ; le produit seul est déterminé ; c'est ce produit qui va constituer le *momento* de cette puissance.

C'est au début du *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua, o che in quella si muovono*, discours qui offre encore tant d'affinités avec les divers écrits *De Motu*, que Galilée, en 1612, définit pour la première fois le *momento* ; il a soin, d'ailleurs, de marquer les liens qui unissent cette notion à la Statique péripatéticienne.

« J'emprunte, dit-il, deux principes à la Science mécanique ; le premier est celui-ci : Deux poids absolument égaux, mûs avec des vitesses égales, sont de même puissance ou de même *momento* dans toutes leurs opérations.

(1) *Le Opere di* Galileo Galilei, Florence, 1890, vol. I, pp. 401 et 402.

(2) J'évite à dessein de traduire ce mot de *momento* en français, car le mot *moment* désigne maintenant, en Mécanique, une notion hétérogène au *momento* ; le *moment*, produit d'une force par une longueur, n'est pas, quoi qu'en dise Lagrange (*Mécanique analytique*, Première Partie, Section I, no 4), un cas particulier du *momento*, produit d'une force par une vitesse.

» Pour les mécaniciens, *momento* signifie cette vertu, cette action, cette puissance efficace, par laquelle le moteur meut et le mobile résiste ; cette vertu ne dépend pas seulement de la simple gravité, mais de la vitesse du mouvement, des inclinaisons diverses des espaces en lesquels le mouvement se produit ; un grave, en effet, produit un *impeto* (1) plus grand lorsqu'il descend sur une surface très déclive que lorsqu'il descend sur une surface qui l'est moins ; quelle que soit, en somme, la raison d'une telle vertu, elle garde toujours le nom de *momento* ; et il ne me paraît pas que ce sens du mot *momento* soit nouveau en notre langue ; car, si je ne me trompe, il nous arrive fréquemment de dire : Cette affaire-ci est bien grave, mais cette autre est de faible *momento* (2) ; ou bien : Nous considérons une chose légère et nous négligeons celles qui sont de *momento* ; ce sont des métaphores empruntées à la Mécanique.

» Le second principe est que la puissance de la gravité croît avec la vitesse de la chose mue ; en sorte que des poids absolument égaux, mais animés de vitesses inégales, ont des puissances, des *momenti*, des vertus inégales ; le plus puissant est celui qui est le plus rapide et cela, dans le rapport de sa vitesse à la vitesse qui anime l'autre poids. De ce principe, nous trouvons un exemple très approprié dans la balance, ou dans la romaine, lorsque les bras du fléau sont inégaux ; des poids absolument égaux, suspendus à ces bras, ne pressent pas également, n'exercent pas des actions égales ; celui qui est à une plus grande distance du centre autour duquel se meut la balance, soulevant l'autre, le mouvement de celui-ci est lent, le mouvement de celui-là est rapide ; et telle est la puissance et la vertu que la vitesse du mouvement donne au mobile, qu'elle

(1) Ce mot a ici le même sens que chez Léonard de Vinci ; ce sens est à peu près celui du mot *force vive* chez Leibniz.

(2) *Momento* a, ici, le même sens qu'en latin *momentum*, importance.

peut être compensée exactement en accroissant d'un poids équivalent le mobile plus lent...

» Une telle compensation entre la gravité et la vitesse se retrouve dans tous les instruments mécaniques ; Aristote l'a prise pour principe dans les *Questions mécaniques* ; d'où nous pouvons prendre pour très vraie cette affirmation que deux poids de grandeur inégale s'équilibrent réciproquement et possèdent des *momenti* égaux, toutes les fois que leurs gravités sont en raison inverse des vitesses de leur mouvement ; ou, en d'autres termes, toutes les fois que le plus léger est disposé de telle sorte que sa vitesse soit à celle du plus lourd comme le poids de celui-ci est au poids de celui-là. »

La seconde journée (1) du *Dialogue sur les deux grands Systèmes du Monde* renferme des allusions à la Statique ; Galilée y traite du principe aristotélicien que l'interlocuteur Salviati énonce ainsi : « La vitesse d'un mobile moins pesant compense la gravité du mobile plus pesant et moins rapide : *La velocità del mobile meno grave compensa la gravità del mobile piu grave, e meno veloce.* » La romaine sert d'exemple à ce principe qui est développé à peu près dans les mêmes termes qu'au *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua.*

Les *Méchaniques* de Galilée ne furent révélées au grand nombre des géomètres que par la traduction de Mersenne, imprimée en 1634 ; mais cet ouvrage était assurément beaucoup plus ancien ; nous le savons par le témoignage même de Galilée ; en 1639, il rédigea un passage dialogué, destiné à être inséré dans les *Discorsi*, et qui y fut en effet inséré lorsqu'on publia, en 1655, la première édition de ses œuvres ; dans ce passage (2), l'interlocuteur Salviati, faisant allusion au traité *Della Scienza Meccanica*, le désigne comme « un antique traité des mécaniques, écrit

(1) *Dialogo delle due massimi Sistemi del Mondo*, giornata secunda.
(2) Galileo Galilei, *Discorsi*..., giornata terza, Theor. II, Prop. II, Scholium.

autrefois par notre Académicien, à Padoue, pour le seul usage de ses élèves ».

Grâce à M. Favaro, nous connaissons aujourd'hui le texte des leçons *Sur les Méchaniques* (1) qui furent professées par Galilée, à Padoue, en 1594. Ce texte, très concis, est beaucoup moins riche en considérations sur les principes de la Statique que les ouvrages dont nous avons déjà parlé. Traitant du levier, Galilée remarque très brièvement (2) qu'au moyen de cet instrument, « ce que l'on acquiert en facilité, on le perd en espace, en temps, en lenteur ; et qu'il en est de même en tous les autres instruments qui ont été fabriqués ou qui pourront être imaginés ». Le cabestan (3) et le treuil (4) lui donnent occasion de répéter la même observation ; il la reprend encore au sujet des moufles (5) et des engrenages (6).

La notion de *momento* ne se trouve point définie dans le *Delle Meccaniche* ; le mot y est cependant employé. Galilée remarque que la puissance qui soutient un poids au moyen d'un levier ne suffit pas à le soulever ; « mais, ajoute-t-il (7), comme tout *momento*, si petit soit-il, qui s'adjoint à la puissance qui fait contrepoids suffit à mettre le poids en mouvement, nous ne tiendrons pas compte de ce *momento* insensible... »

C'est pour donner la théorie de la vis que Galilée, dans son *Delle Meccaniche*, est conduit à user de la théorie du plan incliné (8) ; d'ailleurs, il n'y insiste point : « Tout ce que nous avons dit, écrit-il, est manifeste par la lumière naturelle et par l'expérience ; mais si nous vou-

(1) *Delle Meccaniche lette in Padova l'anno 1594* da Galileo Galilei... (MEMORIE DEL R. ISTITUTO VENETO DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI, vol. XXVI, n° 5, 1899).

(2) *Delle meccaniche...*, Cap° 5.

(3) *Ibid.*, Cap° 8.

(4) *Ibid.*, Cap° 9.

(5) *Ibid.*, Cap° 15.

(6) *Ibid.*, Cap° 16.

(7) *Ibid.*, Cap° 15.

(8) *Ibid.*, Cap° 12.

lions déterminer d'une manière démonstrative le rapport de la force au poids qu'elle peut mouvoir sur des plans diversement inclinés, nous aurions affaire à une spéculation un peu plus difficile ; nous l'omettrons donc ici, et nous nous contenterons d'en connaître la conclusion... » Cependant, en terminant cette étude de la vis, le grand géomètre fait observer (1) que si cet instrument permet d'élever un grand poids avec peu de fatigue, c'est que la puissance a parcouru le long chemin représenté par l'hélice, tandis que le poids a gravi seulement la hauteur du cylindre. La remarque avait déjà été faite par Cardan et par Guido Ubaldo ; il eût été bien facile d'en tirer la théorie du plan incliné que Galilée donnera plus tard, reproduisant presque exactement les raisonnements du Précurseur de Léonard.

Ce n'est pas, assurément, au *Delle Meccaniche*, exhumé par M. Favaro, que Salviati faisait allusion ; il citait, en effet, ces leçons à propos de la théorie du plan incliné qui, disait-il, « y était démontrée d'une manière détaillée et concluante en vue de considérer l'origine et la nature du merveilleux instrument qu'est la vis ». Ces paroles ne sauraient s'appliquer au *Delle Meccaniche*, si concis, que nous venons d'analyser ; elles visent sans doute quelque rédaction, plus complète, composée ultérieurement par Galilée.

C'est d'une telle rédaction que le P. Mersenne publia, en 1634, la traduction française ; c'en est une autre, encore plus développée, qui fut imprimée en 1649, à Ravenne, par les soins de Luca Danesi ; à l'une comme à l'autre convient l'allusion de Salviati, car l'une et l'autre traitent avec détail du plan incliné.

On peut supposer que ces rédactions ont suivi de près le *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua ;* nous y retrouvons, en effet, parmi les définitions, celle du

(1) *Delle Meccaniche...*, Capº 13.

momento ; Les Méchaniques et le traité *Della Scienza Meccanica* la donnent à peu près dans les mêmes termes, et ces termes sont également ceux dont usait l'écrit sur les corps flottants, imprimé en 1612.

« Le *moment* est l'inclination du mesme corps (1), lorsqu'elle n'est pas seulement considérée dans ledit corps, mais conjoinctement avec la situation qu'il a sur le bras d'un levier, ou d'une balance ; et cette situation fait qu'il contrepèse souvent à un plus grand poids, à raison de sa plus grande distance d'avec le centre de la balance. Car cet éloignement estant joint à la propre pesanteur du corps pesant, luy donne une plus forte inclination à descendre ; de sorte que cette inclination est composée de la pesanteur absoluë du corps, et de l'éloignement du centre de la balance, ou de l'appuy du levier. Nous appellerons donc tousjours cette inclination composée, *moment*, qui répond au ῥοπὴ des Grecs. »

En fait, la notion de moment, ainsi présentée, a plus d'une analogie avec ce qu'Aristote et ses commentateurs nomment δύναμις ou ἰσχύς, avec ce que les traducteurs latins des fragments mécaniques attribués à Euclide nomment *virtus* ou *fortitudo*. Visiblement, la notion de *momento*, telle qu'elle est conçue par Galilée, est une idée tout imprégnée encore de Physique péripatéticienne.

Pour justifier l'introduction de cette notion, Galilée ne se contente plus de renvoyer à la Dynamique péripatéticienne ; il développe un raisonnement direct qui semble ne faire appel qu'à des affirmations évidentes ; mais au fond de ce raisonnement, se cache un postulat qui n'est autre que l'axiome d'Aristote.

« Que l'on considère, dit-il (2), une résistance arbitrairement déterminée, une force limitée quelconque, et une

(1) *Les Méchaniques de Galilée*, p. 7.

(2) Cette citation est tirée du traité *Della Scienza Meccanica ;* les mêmes considérations se trouvent, sous une forme un peu moins développée, dans *Les Méchaniques*.

distance fixée comme l'on voudra ; on peut, sans aucun doute, au moyen de la force donnée, transporter le poids donné à la distance donnée, et cela lors même que la force donnée serait extrêmement petite ; il suffit pour cela de diviser le poids en un grand nombre de parcelles, de telle sorte qu'aucune de ces parcelles ne soit supérieure à la force dont on dispose, et de transporter ces parcelles une à une ; on aura finalement mené le poids tout entier au terme que l'on s'était assigné. Dès lors, à la fin de l'opération, on pourra dire avec raison qu'un grand poids a été mû et transporté par une force moindre que lui ; mais la force aura réitéré à plusieurs reprises le mouvement, et parcouru le trajet que le poids considéré, pris dans son ensemble, aura parcouru une seule fois. On voit par là que la vitesse de la force surpasse celle du poids autant de fois que le poids surpasse la force ; en effet, pendant le temps qu'il a fallu à la force mouvante pour parcourir à plusieurs reprises l'intervalle qui sépare les deux termes du mouvement, le mobile n'a franchi qu'une seule fois cet intervalle. Par conséquent, on ne doit pas dire qu'il est hors nature qu'une grande résistance soit surmontée par une petite force ; dans le cas seulement où une petite force transporterait une grande résistance de telle sorte que force et résistance cheminent avec la même vitesse, on pourrait déclarer que les lois de la nature sont surpassées ; mais nous affirmons qu'un tel transport est impossible à effectuer avec aucune machine réalisée jusqu'ici ou réalisable dans l'avenir.

» Il arrive parfois que nous disposions de peu de force et que nous ayons cependant besoin de transporter un grand poids d'un seul bloc et sans le subdiviser en poids plus petits. Dans ce cas, il ne faudra pas que notre force parcoure le même chemin que le poids ; il faudra qu'elle parcoure un chemin qui surpasse le trajet du poids autant de fois que le poids surpasse la force. A la fin d'une telle opération, nous trouverons que le seul bénéfice que nous

ayons tiré de l'emploi de la machine est d'avoir pu transporter d'un seul bloc le poids donné, au moyen de la force donnée, à la distance qui nous était assignée. Mais sans machine, et à la seule condition de le diviser en plusieurs parties, nous aurions pu transporter le même poids, avec la même force, dans le même temps et à la même distance. C'est là l'un des services que l'on peut attendre du mécanicien ; car il arrive fréquemment qu'ayant disette de force, mais non de temps, on parvient à mouvoir un grand poids en bloc. Mais celui qui, à l'aide de machines, espère produire le même effet sans diminuer la vitesse du mobile, et qui tente d'y parvenir, celui-là, certainement, sera déçu ; il prouvera qu'il n'entend rien à la puissance des instruments mécaniques et aux raisons de leurs effets. »

Ce raisonnement de Galilée — est-il besoin de le dire ? — n'est rien moins que rigoureux ; il ne découle point d'une exacte Dynamique ; il donne, en effet, cette conséquence immédiate : La force qui meut un poids donné, en un espace donné, dans un temps donné, meut un poids dix fois plus grand, en un même espace, dans un temps dix fois plus long ; et cette conséquence n'est autre que l'antique axiome d'Aristote, émanation d'une Dynamique où l'on ne distingue pas entre le poids et la masse, et où la vitesse est supposée proportionnelle à la force.

C'est donc à l'ancienne Dynamique que se rattache l'écrit *Della Scienza Meccanica*, à celle que Léonard de Vinci et Cardan ont tirée de la Φυσικὴ ἀκρόασις, du Περὶ οὐρανοῦ ou des Μηχανικὰ προβλήματα ; celui que l'on regarde comme le créateur de la Dynamique nouvelle n'est point encore en possession des principes qui distinguent cette science de la Mécanique péripatéticienne ; ces principes seront, en réalité, trouvés par d'autres que lui ; il ne les connaîtra jamais.

L'équilibre du levier ou de la romaine fournit à Galilée un premier exemple des considérations générales par lesquelles il a débuté. Il montre que si l'on déplace un levier

où les charges sont en raison inverse des bras, les vitesses de ces charges seront en raison inverse de leurs poids, et il ajoute : « Ce n'est point merveille ni contradiction aux lois de la nature si la vitesse avec laquelle se meut le grave B compense la plus grande résistance du poids A. » En terminant, il observe que le rôle du levier consiste bien à transporter une grande résistance, sans la diviser, mais avec lenteur, au moyen d'une petite puissance qui se déplace rapidement. L'étude du treuil, du cabestan, des poulies et des moufles lui donne occasion de reprendre des considérations semblables.

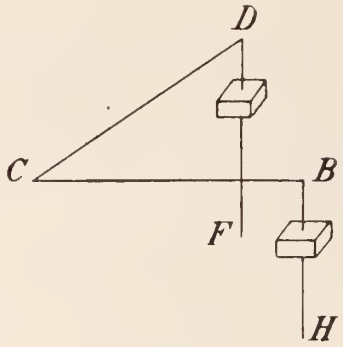


fig. 71.

Chemin faisant, il rencontre, comme tous ses prédécesseurs, la notion de *moment*, prise au sens que les modernes donnent à ce mot ; voici en quels termes très brefs il l'introduit : « Le poids suspendu au point D (fig. 71) produit une impulsion selon la ligne DF ; quand il était suspendu au point B, il produisait une impulsion suivant la ligne BH... Finalement, on doit faire attention à mesurer la distance suivant la ligne qui coupe à angle droit celle selon laquelle le grave est suspendu et selon laquelle il tomberait s'il se mouvait librement. »

Galilée aurait pu rattacher cette notion de *moment* à ses principes généraux ; il lui aurait suffi d'observer que le

momento d'un grave doit être pris proportionnel non pas à la vitesse totale de son mouvement, mais seulement à sa vitesse de chute ; il eût trouvé que le *momento* est proportionnel au *moment ;* il n'a point fait ici ce rapprochement, que Cardan avait cependant donné dans le *De Subtilitate* ; en revanche, de ce principe, clairement posé par Cardan, il va faire usage dans la théorie du plan incliné, où le médecin milanais n'avait pas songé à l'employer.

C'est comme préliminaire à l'étude de la vis que Galilée aborde, dans *Les Méchaniques* et dans le traité *Della Scienza*

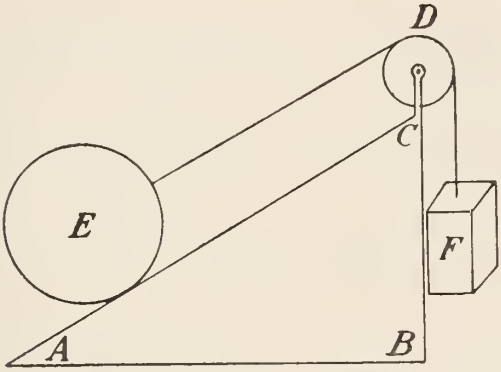


fig. 72.

Meccanica, la théorie du plan incliné. Il reproduit d'abord tout ce qu'il en avait dit dans son ancien traité *De Motu* ; puis, dans le *Della Scienza Meccanica*, il ajoute ce passage, que contiennent également *Les Méchaniques*, sous une forme peu différente :

« En terminant, ne passons point sous silence la considération suivante : dès le principe, nous avons dit que nécessairement, en tout instrument mécanique, autant la force était accrue par l'intermédiaire de cet instrument, autant, en revanche, on perdait de temps ou de vitesse. Il pourrait sembler à quelqu'un que cette proposition n'est ni manifeste, ni vraie, dans le cas que nous étudions ; il pour-

rait lui sembler que la force est, ici, multipliée sans que le moteur fasse un plus long voyage que le mobile. Imaginons donc que, dans le triangle ABC (fig. 72), la ligne AB représente le plan horizontal; la ligne AC, le plan incliné, dont la hauteur sera mesurée par la perpendiculaire CB ; sur le plan AC, est posé un mobile E qui est attaché à la corde EDF ; celle-ci porte en F une force ou un poids qui est à la gravité du poids E dans le même rapport que la ligne BC à la ligne CA ; si le poids F vient à descendre, tirant le mobile E sur le plan incliné, le mobile E parcourra suivant la ligne AC un chemin égal à celui que le grave F décrit dans sa chute. Mais il faut observer ceci : Il est vrai que le mobile E aura parcouru toute la ligne AC dans le temps que le poids F aura mis à s'abaisser d'une égale longueur; mais, pendant ce temps, le mobile E ne se sera pas éloigné du centre commun des choses graves d'une longueur supérieure à la verticale BC, tandis que le poids F, descendant selon la verticale, se sera abaissé d'une longueur égale à toute la ligne AC. Or les graves ne résistent à un mouvement oblique que dans la mesure où ils s'écartent du centre de la terre... Nous pouvons donc dire à juste titre que le voyage de la force F garde au voyage de la force E le même rapport que la longueur AC à la longueur CB, partant que le poids E au poids F.»

La première édition des *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla Meccanica ed ai movimenti locali*, celle dont la rédaction fut terminée par Galilée en 1636 et l'impression achevée par les Elzévirs en 1638, renfermait peu d'innovations intéressant la Statique. Une élégante démonstration de la loi d'équilibre du levier était exposée en la *giornata prima* ; mais elle ressemblait de très près à la démonstration que Simon Stevin avait donnée depuis quarante ans et qui avait été publiée déjà deux fois en flamand, une fois en latin et une fois en français ; en cette démonstration, d'ailleurs, Galilée, comme Stevin, avait simplement fait usage du

principe, si connu dès le moyen âge, d'où se tire la théorie de la balance romaine ; de plus, comme nous le verrons au prochain Chapitre, une démonstration toute semblable était connue dès le XIIIe siècle.

La troisième journée (*giornata terza*) des *Discorsi*, consacrée au *mouvement local*, renfermait une proposition essentielle au développement de la nouvelle Dynamique ; cette proposition affirmait l'égalité des vitesses acquises par les corps pesants en descendant d'une même hauteur sur des plans diversement inclinés ; en la première édition des *Discorsi*, cette égalité était supposée, elle n'était pas démontrée.

En des circonstances qui seront relatées au Chapitre XV, Galilée chercha à étayer cette proposition de solides arguments ; il en composa une démonstration ; sous le titre de *Scholium*, elle fut adjointe à la proposition considérée, lorsqu'en 1655 on réunit pour la première fois les œuvres du grand géomètre.

Au début de ce scholie, l'interlocuteur Salviati s'exprime en ces termes : « Je regarderai, en premier lieu, comme un effet très connu que les *momenti* ou les vitesses d'un même mobile sont différentes sur des plans diversement inclinés, que la plus grande vitesse correspond à la chute suivant la verticale, et que, sur un plan incliné, cette vitesse diminue d'autant plus que le plan est plus éloigné d'être vertical, ... ; en sorte que l'impétuosité, la capacité, l'énergie, ou ce que nous nommerons le *momento* de la chute diminue en ce mobile au fur et à mesure que le plan sous-jacent, sur lequel il s'appuie, s'abaisse. »

Pour évaluer cette variation d'impétuosité, Salviati déclare qu'il s'en réfère « à un antique traité des mécaniques, qui fut autrefois écrit à Padoue par notre Académicien pour le seul usage de ses élèves », c'est-à-dire au *Della Scienza Meccanica* de Galilée. Il énonce, en effet, d'après ce traité, que le *momento* d'un grave descendant un plan incliné est à son *momento* en chute libre, comme

la hauteur du plan est à la longueur de la ligne de plus grande pente ; et de cette proposition, il tire la démonstration cherchée.

Salviati termine en affirmant que « pour assurer l'équilibre, c'est-à-dire le repos, entre les deux mobiles qu'il a considérés, il est nécessaire que leurs *momenti*, leurs vitesses, ou leurs propensions au mouvement, c'est-à-dire les espaces qu'ils franchiraient dans un même temps soient dans le rapport inverse de leur gravité ; selon la loi générale que prouvent tous les mouvements mécaniques ».

Dans les longues additions aux *Discorsi* que Galilée avait rédigées et qui virent le jour seulement après sa mort, le passage que nous venons de citer n'est pas le seul qui concerne le plan incliné ; on en trouve un autre en la *giornata sesta, della forza della percossa ;* ce dernier reproduit fidèlement la pensée, sinon les termes, d'un fragment du traité *Della Scienza Meccanica*, rapporté plus haut.

Les divers passages des *Discorsi* que nous venons d'analyser n'ont apporté aux progrès de la Statique aucune contribution nouvelle ; leur intérêt est ailleurs.

Si l'on en croit la plupart des historiens de la Mécanique, Galilée, dans les *Discorsi*, a renversé de fond en comble les bases de la Dynamique péripatéticienne pour élever, sur des fondements nouveaux, la Dynamique moderne ; or, en ces mêmes *Discorsi*, il emprunte un lemme à une Statique qui prend pour principe l'axiome d'Aristote ; et ce lemme n'a pas pour but de prouver quelque théorème accessoire et peu important ; il a pour objet la démonstration d'une proposition que Galilée regarde, comme « le *théorème essentialissime* (1) pour l'établissement de la science du mouvement proposée par lui ». Sans doute,

(1) Galileo Galilei, *Lettere al P. Ab. D. Benedetti Castelli*, 5 décembre 1639 ; reproduite dans toutes les éditions des œuvres de Galilée.

dans les considérations relatives au plan incliné que renferment les *Discorsi*, l'axiome d'Aristote n'est pas explicitement énoncé, mais rien non plus n'indique qu'il le faille rejeter ; les démonstrations du traité *Della Scienza Meccanica* y sont considérées comme des démonstrations détaillées et concluantes «... che in un antico trattato di meccaniche scritto già in Padova dal nostro Accademico sol per uso dè suoi discepoli fu diffusamente, e concludentemente dimostrato...» ; et ces démonstrations sont tirées d'un principe équivalent à l'axiome d'Aristote ; enfin il y est répété à plusieurs reprises qu'un même grave, en diverses circonstances, a des *momenti* proportionnels aux vitesses qui l'animent en ces mêmes circonstances. Que peut-on conclure de ces remarques, sinon qu'au moment même où, selon maint historien, Galilée créait la Dynamique nouvelle, le grand géomètre continuait à relier ses déductions à l'ancienne Dynamique, à celle qu'Aristote avait professée, que l'École avait commentée, dont Léonard de Vinci, puis Cardan avaient tiré tant d'importantes conséquences ? Jamais Galilée n'a cessé de croire à l'axiome péripatéticien qui proclamait la proportionnalité entre la force et la vitesse ; l'opinion qui en fait le créateur de la Dynamique moderne est une légende controuvée.

D'ailleurs, la Statique de Galilée ne mérite peut-être pas tous les éloges que lui prodiguent habituellement les historiens ; une bonne part de ces éloges reviendrait légitimement à des géomètres plus anciens ; il est peu de choses, en cette Statique, qui ne se trouvent déjà dans les écrits de Cardan, nourris eux-mêmes des pensées inédites de Léonard de Vinci ; en fait, si l'on cherche par quoi la Statique de Galilée surpasse celle de Cardan, on ne trouve qu'un seul progrès essentiel : la solution du problème du plan incliné. Mais, de ce problème, la solution avait été donnée dès le XIIIe siècle ; des deux démonstrations par lesquelles Galilée la justifie, l'une est une application presque immédiate de la notion de gravité *secundum*

situm de Jordanus et du lien que Cardan a établi entre cette notion et celle de moment ; l'autre, la plus satisfaisante, reproduit purement et simplement le raisonnement donné, au moyen âge, par le Précurseur de Léonard de Vinci.

Or, comment admettre que Galilée ait ignoré l'œuvre de ce grand géomètre inconnu ? Les cinq éditions des *Quesiti et inventioni diverse* de Tartaglia, le recueil des *Opere* du même auteur, le *Jordani opusculum de ponderositate*, imprimé par Curtius Trojanus, l'ont publiée à sept différentes reprises. Cardan, Guido Ubaldo, Benedetti ont critiqué cette œuvre, qu'ils attribuent à Jordanus. Cette œuvre, enfin, est lue par les disciples de Galilée ; l'un d'eux, Bardi, écrit (1), à propos de la pesanteur spécifique: « Gravitas de qua hic agitur ea est quam nonnulli a pondere distinguunt, Galileus vero cum Jordano gravitatem in specie appellat ». Cette allusion à Jordanus, Thurot (2) l'a fort justement remarqué, s'applique en fait au petit traité sur les pesanteurs spécifiques que certains manuscrits attribuent à tort à Archimède et que Curtius Trojanus a joint, sans nom d'auteur, au *Jordani opusculum de ponderositate*. On connaissait donc, dans l'entourage même de Galilée, cet écrit fort ancien dont la Statique passe, en certains points, tout ce qu'a donné, sur le même sujet, le géomètre florentin.

(1) *Eorum quæ vehuntur in aquis experimenta* a Joanne Bardio Florentino *ad Archimedis trutinam examinata*. Romae, 1614.

(2) Thurot, *Recherches historiques sur le principe d'Archimède* (REVUE ARCHÉOLOGIQUE, nouvelle série, t. XIX, 1869, p. 117).

Chapitre XII

SIMON STEVIN
(1548-1620)

Dès l'antiquité, les physiciens qui ont abordé les problèmes de l'équilibre les ont attaqués par deux méthodes bien distinctes.

Aristote, moins géomètre que philosophe, ne voit dans l'équilibre qu'un cas particulier du mouvement ; la Statique n'est point une science autonome, ayant ses principes indépendants ; elle n'est qu'un chapitre de la Dynamique ; ses propositions se doivent tirer des lois générales qui dominent le mouvement local.

Archimède, plus géomètre que philosophe, dirige les efforts de son puissant génie moins à la pénétration profonde de la nature des choses qu'à l'enchaînement rigoureux de propositions, toutes déduites d'axiomes clairs et incontestables.

Or, l'étude du mouvement est trop peu avancée à l'époque d'Archimède — et peut-être encore à notre époque — pour qu'on y puisse trouver de ces propositions auxquelles l'expérience de chaque jour confère une évidence qui exclut toute contradiction. On peut, au contraire, dans l'étude de l'équilibre, trouver de semblables propositions. Ce sont elles qu'Archimède postule, dont il fait les hypothèses sur lesquelles il fonde la Statique, devenue science autonome.

Ces deux courants distincts, on les peut reconnaître au cours de tout le développement de la Statique ; tantôt les progrès de cette science sont promus par la méthode d'Aristote, tantôt ils sont achevés par la méthode d'Archimède.

C'est à la doctrine du Philosophe de Stagire que se rattache presque exclusivement l'évolution dont nous

venons de retracer l'histoire ; les lois de la Statique qui vont se généralisant et se précisant à travers les écrits de Jordanus de Nemore, du Précurseur de Léonard, de Léonard de Vinci, de Cardan et de Galilée sont issues des germes que renfermaient les Μηχανικὰ προβλήματα.

Il suffit, au contraire, de feuilleter la Statique (1) de Simon Stevin pour reconnaître, dans le géomètre de Bruges, un fidèle disciple du géomètre de Syracuse.

Simon Stevin naquit à Bruges en 1548. Il fut, pendant quelque temps, teneur de livres et caissier à Anvers ; plus tard, il obtint un emploi dans l'administration des finances du Franc de Bruges. La franchise des droits sur la bière lui ayant été refusée, il quitta sa patrie ; nous savons qu'en 1571, il ne l'habitait déjà plus. Il visita la Prusse, la Pologne, la Suède et la Norvège, puis vint s'établir dans les Pays-Bas septentrionaux, où il passa le reste de sa vie. Dès 1581, il demeurait à Leyde ; en 1582, il y publiait son premier ouvrage ; le 16 février 1583, il se faisait inscrire comme étudiant ès lettres à l'Université

(1) La Statique de Stevin parut d'abord en flamand sous le titre : *De Beghinselen der Weeghconst*, beschreven dver Simon Stevin van Brugghe. Tot Leyden, inde Druckerye van Christoffel Plantijn, bij Françoys van Raphelinghen. MDLXXXVI. Elle était divisée en deux parties, dont l'une traitait des principes généraux de la Statique et l'autre de la recherche des centres de gravité. Deux autres écrits y étaient joints : l'un, intitulé *De Weeghdaet*, traitait des applications de la Statique ; l'autre, *De Beghinselen des Waterwichts*, exposait l'Hydrostatique.

Plus tard, Simon Stevin publia, en flamand, toutes ses œuvres mathématiques sous le titre : *Wisconstige Gedachtenissen*, inhoudende t'ghene daer hem in gheoeffent heeft den Doorlvchtichsten Hoochgheboren Vorst ende Heere, Mavrits Prince van Orengien, Grave van Nassau, ..., Beschreven deur Simon Stevin van Brugghe. Tot Leyden, inde Druckerye van Ian Bouvvensz, Int Iaer MDCVIII.

Le deuxième volume de cette collection, intitulé : *Vierde Stvck der wisconstighe Ghedachtnissen vande Weeghconst*. Tot Leyden, bij Jan Bouwensz, Anno MDCV, contient la Statique. Les quatre premiers livres reproduisent la Statique publiée en 1586. Stevin y a joint un cinquième livre, *Vanden Anwang der Waterwichtdaet*, sur les applications de la Statique ; un appendice, intitulé : *Anhang der Weeghconst*, inde welcke onder anderen vveerleyt vvorden ettlicke dvvalinghen der wichtige ghedaenten ; enfin une sorte de supplément nommé *Byvovgh der Weeghconst*. Ce supplément contient quatre parties, dont la première, *Van het Tavwicht*,

de cette ville. En 1590, il quitta Leyde pour Delft, puis pour La Haye. Sa réputation scientifique était considérable. Il devint professeur de mathématiques et intendant des finances du Prince Maurice de Nassau, inspecteur des digues, quartier-maître général de l'armée des États. Il mourut en 1620.

La Mécanique de Stevin, avons-nous dit, n'est nullement celle d'un philosophe ; elle est avant tout une œuvre de géomètre. La prédilection de Stevin pour la méthode, si belle dans sa sobriété et sa rigoureuse précision, qu'Archimède tenait de son maître Euclide, apparaît dès l'abord en la savante ordonnance de la *Statique* composée par l'illustre Flamand. C'est avec une minutieuse régularité qu'il range les définitions, les déclarations, les postulats, les propositions, les exemples à la place que leur assignent les lois de la logique déductive ; plus encore qu'Euclide et Archimède, Stevin s'efforce de mettre à nu l'ossature du

est consacrée à la Spartostatique (équilibre des fils) et la seconde, *Vant Catrolwicht*, est consacrée à la Trochléostatique ou équilibre des poulies.

La collection dont nous venons de parler fut, en même temps, traduite en latin par Willebrordus Snellius et publiée sous le titre : *Hypomnemata mathematica*. La partie qui nous intéresse est ainsi désignée : *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, quo comprehenduntur ea in quibus se exercuit Illustrissimus illustrissimo atque antiquissimo stemmate ortus Princeps, ac Dominus, Mauritius Princeps Auraicus, comes Nassoviæ,... conscriptus a Simone Stevino, Brugensi, Lugodini Batavorum, ex officina Joannis Patii ; Anno MDCV.

Enfin, cette collection fut traduite en français sous le titre : *Œuvres mathématiques* de Simon Stevin de Bruges, ou sont inserées les Memoires mathematiqves esquelles s'est exercé le Tres-haut et Tres-illustre Prince Maurice de Nassau, Prince d'Aurenge, Gouverneur des Provinces des Païs-bas unis, General par Mer et par Terre, etc. Le tout reveu, corrigé et augmenté par Albert Girard Samielois, Mathematicien. A Leyde, chez Bonaventure et Abraham Elsevier, Imprimeurs ordinaires de l'Université. Anno MDCXXXIV. Quatriesme volume traitant de l'art pondéraire ou de la Statique.

Une autre traduction française, due à J. Tuning, et publiée à Leyde en 1608, ne renfermait pas la Statique.

Pour plus de détails, voir, dans la BIBLIOTHECA BELGICA, la *Bibliographie des œuvres de Simon Stevin* par M. Ferdinand Vanderhaegen. Cet écrit nous a fourni également les renseignements biographiques que nous donnons dans le texte.

raisonnement, afin que l'on en distingue tous les membres, que l'on voie le jeu de chaque articulation.

Si la forme même de ses écrits nous montre en Stevin un fervent disciple d'Archimède, son propre aveu nous assure qu'il repoussait de toutes ses forces la méthode employée en Statique par Aristote et par Cardan.

Cet aveu transparaissait déjà, dès la première édition de sa Statique, dans l'avis au lecteur qui ouvrait le livre consacré à la pratique (1) ; il se manifeste pleinement dans un Appendice (2) rédigé par Stevin pour la seconde édition de sa Statique.

A l'aspect de la foule des erreurs qui ont cours en Statique, Stevin se sent le désir et le pouvoir d'infliger à cette armée d'ennemis de la vérité une défaite de Marathon (3) ; mais il préfère condenser en deux propositions l'essence même de toutes ces hérésies, et réfuter en deux Chapitres ces deux propositions.

Le premier de ces Chapitres (4) est dirigé contre l'idée fondamentale des Μηχανικὰ προβλήματα : *La cause de l'équilibre du levier*, dit le titre, *ne réside point dans les arcs de cercle que décrivent ses extrémités.* « Que des poids égaux, suspendus à des bras de levier égaux, se fassent équilibre, le sens commun suffit à nous l'enseigner. Mais que des poids inégaux, suspendus à des bras de levier inégaux, soient en équilibre lorsque ces poids sont inversement proportionnels aux bras qui les portent, la cause n'en est pas aussi évidente. Cette cause, les anciens ont pensé qu'elle résidait dans les arcs de cercle décrits par les extrémités du levier ; on peut voir cette opinion dans *Les Méchaniques* d'Aristote et dans les écrits de ses parti-

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, p. 81 ; Liber tertius, de Staticæ praxi ; ad Lectorem.

(2) Simon Stevin, *Ibid.*, p. 150 ; Appendix Statices, ubi inter alia errores quidam Στατικῶν ἰδιωμάτων refelluntur.

(3) Simon Stevin, *Ibid.*, p. 150 ; ad Lectorem.

(4) Simon Stevin, *Ibid.*, p. 151 ; Caput I : Causam aequilibritatis situs non esse in circulis ab extremitatibus radiorum descriptis.

sans. Que cette opinion soit fausse, nous le prouverons de la manière suivante :

» *Ce qui est immobile ne décrit pas de cercle ;*

» *Deux poids en équilibre sont immobiles ;*

» *Donc deux poids en équilibre ne décrivent aucun cercle* (1).

» Partant, il n'y a pas de cercle ; le cercle supprimé, la cause qui pouvait résider en lui disparaît ; la cause de l'équilibre du levier ne se cache donc pas dans les arcs de cercle. Insistons, afin de mettre hors de doute la mineure de notre syllogisme ; ce mouvement, cette description de cercles, que l'on considère ici, n'est nullement une propriété des poids qui se font équilibre ; il est un effet du hasard, il est causé par le vent ou par quelque impulsion étrangère ; et alors, ce ne sont pas seulement des poids en équilibre qui décrivent des cercles, mais aussi des poids ἀνισόῤῥοπα quelconques. La cause de l'équilibre ne réside donc point dans ces arcs de cercle... Il ne faut point s'étonner si ceux qui prenaient pour vérités de telles erreurs ne sont point arrivés à la véritable connaissance des causes, et que, n'ayant pu, en aucune manière, trouver la forme de la Statique, ils se soient écartés de la vérité dans les sens les plus divers, luttant avec une foule de propositions fausses. »

La condamnation est sévère ; elle est souverainement injuste ; de cette proposition, si hautainement réfutée par Stevin, un progrès continu a fait sortir la méthode entière des déplacements virtuels, et la fécondité, plus étonnante chaque jour, de cette méthode ne cesse de proclamer le génie de celui qui a composé les Μηχανικὰ προβλήματα. La méprise de Stevin est celle d'un esprit exclusivement

(1) Dans son français naïf, Albert Girard formule ainsi ce syllogisme : Ce qui demeure coy, estant suspendu, ne descrit aucune circonférence.

Deux pesanteurs pendues en équilibre sont coyes.

Deux pesanteurs pendues en équilibre donc ne descrivent aucune circonférence.

géométrique. Les yeux du géomètre, qui n'est que géomètre, exigent des torrents de lumière ; les seules vérités qu'ils aperçoivent sont celles qui, brillants papillons, ouvrent leurs ailes au grand soleil de l'évidence ; or les idées de l'avenir, demain insectes parfaits, mais aujourd'hui larves encore, vivent dans une demi-clarté ; aux yeux éblouis du géomètre, cette demi-clarté semble une nuit profonde où grouillent des monstres.

Plus justes sont les critiques adressées par Stevin (1) à la Dynamique, encore bien informe, qu'enseigne Cardan dans l'*Opus novum ;* bien aisément, le géomètre de Bruges montre l'impuissance de cette Dynamique à rendre compte des particularités qu'offre la chute des graves dans l'air ou dans un milieu homogène ; comment rendrait-elle compte des mouvements des « machines, formées d'un agencement de bois et de fer, où certaines parties sont graissées d'huile ou de saindoux, où d'autres sont gonflées par l'humidité de l'air ou rongées par la rouille, où ces diverses circonstances, et beaucoup d'autres que je passe sous silence, viennent tantôt faciliter le mouvement, tantôt le gêner » ?

La Statique laissera donc de côté toute considération sur le mouvement des machines : « La Statique enseignera exclusivement (2) les circonstances dans lesquelles le poids moteur et le poids mû s'équivalent ou se font équilibre. Mais à tout mobile sont toujours liés d'une manière inhérente certains empêchements au mouvement ; c'est par la pensée seulement que l'on en peut faire abstraction ; et pour mettre le mobile en mouvement, il est également nécessaire de surmonter ces empêchements ; la détermination de la puissance qu'il faut mettre en œuvre pour ébranler et émouvoir un poids donné restera en dehors des enseigne-

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, p. 151 ; Caput II : Res motas impedimentis suis non esse proportionales.

(2) Simon Stevin, *Ibid.*, Liber tertius, de Staticæ praxi, p. 81 ; ad Lectorem.

ments de la Statique. La méthode mathématique, en effet, est impuissante à déterminer et à expliquer ces excès de puissance motrice qu'exige le mouvement ; car les empêchements au mouvement n'ont, avec l'objet mû, aucune relation constante. »

La Statique peut-elle être construite hors de toute considération de ces obstacles au mouvement? Simon Stevin l'affirme ; il nie que ces obstacles, ces frottements puissent maintenir les corps en repos dans des conditions autres que celles qui sont fixées par la science de l'équilibre. « D'ailleurs, dit-il (1), la considération de l'équilibre suffit ici ; en effet, si, dans les deux plateaux d'une balance, vous placez des poids égaux, bien que le fléau ne soit pas exempt de certains obstacles au mouvement, il suffira toutefois du plus léger effort pour faire osciller la balance alternativement d'un côté et de l'autre ; et il est certain qu'il en sera de même dans tous les autres cas. »

Manifestement, l'affirmation est erronée. Les frottements de toute espèce, les diverses sortes d'empêchements au mouvement déterminent une foule d'équilibres que ne saurait prévoir une Statique où l'on ne tient aucun compte de ces obstacles. Il y a pour cette Statique, en tous ces *impedimenta*, des sources de démentis, des causes de désaccord avec la réalité. Le géomètre, cependant, les laissera hors de ses raisonnements, parce que les lois auxquelles ils obéissent ne présentent pas, à ses yeux, un degré suffisant de clarté. « Impedimentorum, inquam (2), potentia, cum catholica non sit, a Staticæ præceptis rejicienda, quia ejus ad potentiam moventem ratio unica et certa nulla apparet. » Étrange méthode, pensera-t-on, qui sacrifie l'exactitude à la simplicité et à la clarté ; mais heureux illogisme, qui arrache l'esprit humain à l'inutile et désespérante contemplation d'un problème inabordable,

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*.
(2) Simon Stevin, *Ibid.*

hérissé de difficultés et de complications, pour le lancer à l'assaut d'un problème moins abrupt et plus accessible ; maître de celui-ci, il pourra, dans un second effort, y appuyer sa marche en avant et se rendre enfin maître de l'entière vérité, imprenable tout d'abord. Si, dans l'étude de la chute des corps, Galilée n'avait pas négligé la résistance, si réelle et si efficace, du milieu, il n'eût pas créé la Dynamique. De même, la Statique n'eût pas reçu de Simon Stevin la féconde impulsion qu'elle lui doit, si ce géomètre eût voulu tenir compte des résistances et des frottements.

C'est donc, à la manière d'Archimède, une Statique indépendante de la science du mouvement que Stevin composera ; cette Statique tirera ses déductions d'axiomes auxquels le sens commun conférera certitude et clarté.

En toute entreprise de ce genre, la difficulté est moins d'enchaîner dans un ordre logique rigoureux les diverses propositions, dont la suite formera la théorie que l'on veut exposer, que d'énumérer, sans omission ni répétition, tous les axiomes dont on doit réclamer l'acceptation. Au début de ses *Éléments*, Euclide a donné un inoubliable modèle d'une telle énumération ; formé à son École, Archimède a su merveilleusement démêler presque toutes les demandes qu'il convenait de formuler au début de ses traités mécaniques. Il en a omis cependant, et non des moindres ; sa théorie du levier suppose, sans la demander explicitement, l'existence de certaines propriétés du centre de gravité. En l'accomplissement d'une semblable tâche, Simon Stevin fut, peut-être, moins heureux que ses illustres modèles ; sous la minutieuse complication de l'appareil logique selon lequel s'ordonnent ses déductions se glisse parfois un postulat, à demi caché, et d'une évidence moins immédiate que les axiomes formellement énoncés. Girard, déjà, en avait fait la remarque ; au cours d'une de ses démonstrations (Livre I, Théorème II, Prop. VI), Stevin place incidemment cette phrase : « Il faut aussi remarquer

cette règle générale de Statique, que *le centre de gravité d'un corps suspendu est en sa perpendicle de gravité.* » A la suite de cette déduction de Stevin, Albert Girard place une note où, entre autres critiques, se lit celle-ci : « On voit que Stevin ne prouve pas du tout sa démonstration, car il s'aide puis après d'une règle qu'il ne démonstre pas icy... Finalement, il devoit plus tost avoir mis la règle cy-dessus ès petitions. »

Les *Éléments de Statique* (1) débutent par une série de définitions ; ils présentent ensuite une série de propositions ; parmi celles-ci, les unes sont consacrées aux poids qui

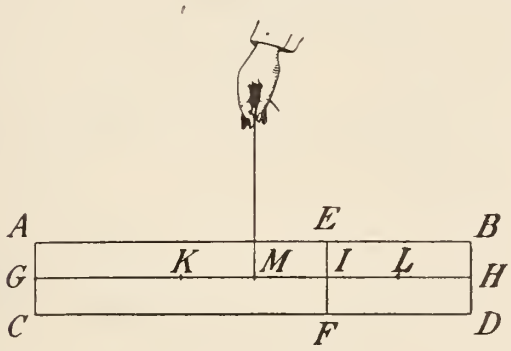


fig. 73.

tirent verticalement, les autres aux poids qui tirent obliquement ; les premières sont dominées par la théorie du levier, les secondes par la théorie du plan incliné.

La théorie du levier est présentée sous une forme très ingénieuse.

Imaginons un cylindre droit, homogène, à génératrices horizontales, ABCD (fig. 73) ; supposons-le suspendu par son centre de figure M, qui est, en même temps, son centre de gravité ; ce cylindre sera sûrement en équilibre.

Par une section droite EF, nous pouvons décomposer

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica.* Liber primus Staticæ, de Staticæ elementis.

ce cylindre en deux cylindres partiels AECF et EFBD dont les volumes et, partant, les poids aient entre eux tel rapport qu'il nous plaira d'imaginer. A chacun de ces poids, nous pourrons ensuite substituer deux poids de forme quelconque mais égaux aux premiers, suspendus à la ligne non pesante, GH, qui sert d'axe au cylindre total, par les points K, L, centres de gravité des cylindres partiels.

Nous avons donc, en définitive, un levier horizontal en équilibre K, L qui porte en ses extrémités K, L des poids proportionnels à GI et IH, c'est-à-dire inversement proportionnels aux longueurs KM, ML des bras de levier.

Telle est la méthode fort élégante par laquelle Stevin parvient (1) à la loi d'équilibre du levier horizontal ; il en tire aisément ensuite la loi d'équilibre d'un levier oblique et diverses propositions touchant les centres de gravité.

Quelle est l'originalité de cette démonstration, c'est ce que nous examinerons plus tard. Pour le moment, nous poursuivrons l'analyse de la Statique composée par le grand géomètre de Bruges et nous porterons en premier lieu notre attention sur le problème du plan incliné.

De ce problème célèbre, Stevin obtient la solution par une méthode infiniment originale, que rien ne rappelle dans les méthodes diverses par lesquelles Galilée, Descartes et Torricelli ont résolu la même question.

« Jusqu'ici, dit-il (2), nous avons énuméré les diverses espèces de poids tirant verticalement ; désormais, nous allons décrire les propriétés des poids tirant obliquement ; de ces propriétés, nous prendrons pour fondement la vérité générale que renferme ce Théorème :

» Théorème XI, Proposition XIX. *Soit un triangle dont le plan est perpendiculaire et la base parallèle à l'horizon ; sur les deux autres côtés, sont placées deux*

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, pp. 12-15.

(2) Simon Stevin, *Ibid.*, Liber primus, de Staticæ elementis, p. 34.

boules (1) *qui s'équilibrent l'une l'autre* (2) ; *la pesanteur apparente* (sacoma) *de la boule de gauche est à la pesanteur apparente antagoniste* (antisacoma) *de la boule de droite comme la longueur du côté droit du triangle est à la longueur du côté gauche.*

» Soit, ajoute Stevin, le triangle ABC (fig. 74), où le côté AB est double du côté BC ; les deux boules D et E étant de même grandeur et de même poids, il s'agit de prouver que la pesanteur apparente de la boule E est double de la

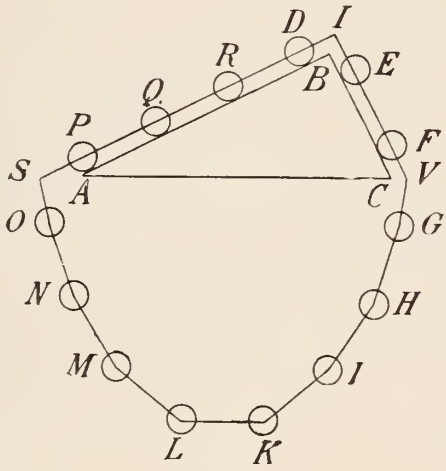


fig. 74

pesanteur apparente de la boule D. Dans ce but, adjoignons à ces boules douze autres boules qui leur soient identiques F, G, H, I, K, L, M, N, O, P, Q, R ; relions-les les unes aux autres par des fils égaux, de telle manière que nous formions un collier sur lequel nos quatorze boules soient également espacées. Jetons ce collier sur notre

(1) Ajoutez : *de même grandeur et de même poids.*

(2) Stevin veut dire par là : *disposées de telle sorte que la descente de l'une oblige l'autre à monter.* Pris au pied de la lettre, l'énoncé donné par Stevin serait en contradiction avec les développements qui le suivent.

triangle, de telle sorte que le côté AB porte quatre boules et le côté BC deux boules seulement.

» Si la pesanteur apparente de l'ensemble de quatre boules D, R, Q, P n'était pas égale à la pesanteur apparente de l'ensemble des deux boules E, F, l'un de ces deux ensembles pèserait plus que l'autre ; supposons que l'ensemble le plus pesant soit celui des quatre boules D, R, Q, P. D'autre part, les quatre boules O, N, M, L ont évidemment même pesanteur que les quatre boules G, H, I, K. Donc la partie du collier formée par les huit boules D, R, Q, P, O, N, M, L serait plus lourde que la partie du collier formée par les six boules E, F, G, H, I, K. Or le plus lourd entraîne le plus léger ; les huit boules vont donc descendre et les six vont donc monter. Imaginons que D soit descendue jusqu'à prendre la place de O, que E, F, G, H se soient substituées à P, Q, R, D, enfin que I, K se trouvent où étaient E, F. La couronne ou le collier de boules se retrouvera exactement dans la même situation qu'au début ; pour la même raison, les huit boules de gauche pèseront plus que les six boules de droite ; de nouveau, ces huit boules de gauche descendront, les six de droite monteront. Ainsi, ces boules prendront d'elles-mêmes un mouvement continu et éternel, ce qui est faux. »

La pesanteur apparente *(sacoma)* des quatre boules de gauche est donc égale à la pesanteur apparente antagoniste *(antisacoma)* des deux boules de droite ; et, comme le voulait l'énoncé, le *sacoma* de l'une des boules de gauche est la moitié de l'*antisacoma* de l'une des boules de droite.

Supposons qu'un corps M (fig. 75), reposant sur un plan incliné AB, soit tiré par un fil MN, tendu parallèlement à la ligne de plus grande pente du plan ; que ce fil passe ensuite sur une poulie N et que le bout qui pend verticalement porte un poids P. Quelle grandeur devra avoir ce poids P pour maintenir le corps M en équilibre ? Il devra évidemment être égal à la pesanteur apparente, au *sacoma*

du corps M ; en d'autres termes, le poids P sera au poids du corps M comme BC est à AC.

Ce résultat peut encore s'énoncer d'une autre manière ; traçons un triangle *abc* dont les côtés *ac*, *ab* sont respectivement perpendiculaires à AC, AB, tandis que le troisième côté *bc* est parallèle à AB. Le poids P sera au poids M comme le côté *bc* est au côté *ac*. Cette construc-

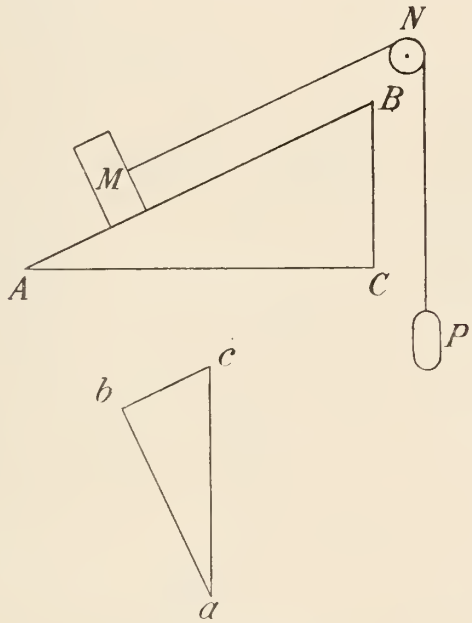


fig. 75.

tion, donnée par Stevin (1), est, on le voit, celle que nous ferions aujourd'hui pour exprimer que la tension du fil MN et le poids du corps M ont une résultante normale au plan AB.

Comment devra être déterminé le poids P (fig. 76) si le fil qui tire le mobile M est tendu suivant une ligne MN

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, Liber primus Staticæ, de Staticæ elementis, p. 35.

qui n'est plus parallèle au plan incliné AB ? Stevin conserve la règle précédente. Si l'on trace un triangle *abc* dont les côtés *ac*, *ab* sont le premier vertical et le second normal à AB, tandis que le troisième côté *bc* est parallèle à MN, le poids P sera au poids M comme le côté *bc* est au côté *ac*. La règle ainsi formulée est encore celle que

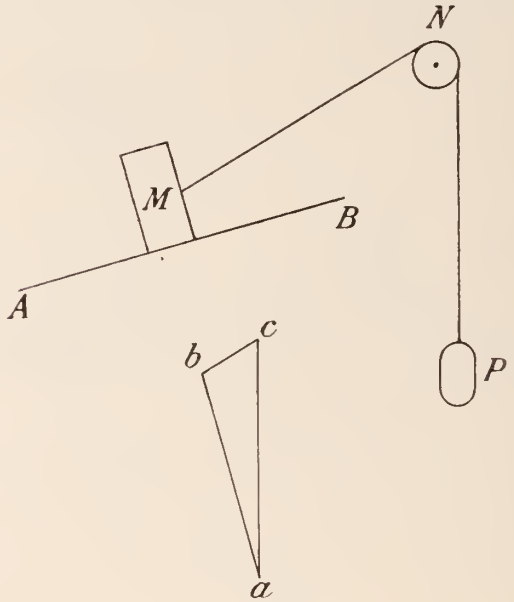


fig. 76.

nous suivons aujourd'hui pour marquer que le poids du mobile et la tension du fil ont une résultante normale au plan incliné.

Mais, il faut bien le reconnaître, cette généralisation de la première règle est, dans l'œuvre de Stevin, une pure pétition de principes ; il ne nous semble pas que les considérations (1) qui en accompagnent l'énoncé puissent, en aucune façon, être prises pour un raisonnement.

(1) Simon Stevin, *loc. cit.*, 6 Consectarium, pp. 36 et 37.

Les règles que nous venons d'exposer équivalent, en somme, à des compositions de forces ; et, en effet, Stevin va en tirer la loi générale de la composition de deux forces concourantes, la loi célèbre du parallélogramme.

Il supposera que deux cordes soutiennent un corps pesant et il démontrera, tout d'abord, que les directions de ces deux cordes, situées dans un même plan vertical, vont concourir en un point qui est sur la verticale du centre de gravité du corps suspendu ; puis, il cherchera quelle est la tension de chacune de ces deux cordes ; il construira un parallélogramme dont les côtés soient parallèles aux deux cordes et dont la diagonale soit verticale ; il montrera alors que la tension de chaque corde est au poids total du corps comme la longueur du côté correspondant du parallélogramme est à la longueur de la diagonale ; ainsi se trouvera démontrée la règle, désormais célèbre, qui donne la résultante de deux forces concourantes ; de cette règle, diverses conséquences, classiques encore aujourd'hui, se tireront aisément.

Par quels intermédiaires Stevin a-t-il pu passer, des théorèmes sur le plan incliné dont nous avons rappelé l'énoncé, à la règle du parallélogramme des forces ? Ces intermédiaires, il ne nous est pas possible de les retracer ici ; la méthode géométrique des anciens, dont Stevin fait un usage exclusif, progresse par une longue suite de propositions, enchaînées par de complexes artifices de construction ; cette lenteur et cette complication paraissent insupportables à nos esprits qui ont accoutumé de goûter la brièveté et la simplicité de l'analyse moderne.

Cette pénible déduction, Stevin ne l'a pas menée d'emblée de son point de départ à son point d'arrivée ; pour obtenir la règle du parallélogramme des forces, il a dû s'y reprendre à deux fois. Au moment où il publiait la première édition flamande de sa Statique, il était déjà

en possession de la première partie de l'énoncé (1) ; mais la seconde partie fut publiée pour la première fois dans un appendice sur l'équilibre des fils (*Spartostatica*) (2), inséré aux *Hypomnemata mathematica*.

D'ailleurs, la minutieuse complication de l'appareil logique mis en œuvre par Stevin ne fonctionne pas sans quelques heurts et sans quelques soubresauts ; nous en avons déjà signalé un ; il n'est point seul et le passage (3) de l'équilibre d'un corps sur un plan incliné à l'équilibre d'un corps qui a un point fixe nous semble bien scabreux.

Quoi qu'il en soit des objections que l'on peut adresser à plus d'un raisonnement de Stevin, les règles qu'il a énoncées sont exactes ; elles répondent à des questions qui, dès l'antiquité, avaient sollicité les efforts des mécaniciens sans trouver de solution ; elles seront d'un continuel usage aux géomètres qui, dans l'avenir, traiteront de la Statique ; Stevin avait donc le droit de contempler avec orgueil le monument dont il était l'architecte.

Il était particulièrement fier d'avoir résolu le problème du plan incliné, qui formait comme la clé de voûte de toute sa Statique. En frontispice (4) de la première édition de son œuvre, figurait, au centre d'un écusson, la figure d'un triangle ceint d'un collier de quatorze perles ; cette figure et la devise flamande (5) « *Wonder en is gheen Wonder* » qui la surmontait rappelaient au lecteur l'original artifice par lequel le géomètre de Bruges avait, si simplement, délié ce nœud gordien.

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, Liber primus Staticæ, de Staticæ elementis. 16 Theorema, 25 Propositio ; p. 46.

(2) Simon Stevin, *Ibid.*, Additamentum Staticæ. Pars prima : De Spartostatica ; 3 Consectarium, p. 161.

(3) Simon Stevin, *Ibid.*, Liber primus Staticæ, de Staticæ elementis ; 9 Consectarium, p. 39.

(4) Ce frontispice est reproduit dans : Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwickelung*, 2te Auflage, fig. 21, p. 28 ; Leipzig, 1889.

(5) « La merveille n'est pas merveille. »

Cette démonstration tire toute sa force d'un principe, l'impossibilité du mouvement perpétuel. Ce principe, Stevin en fait usage sans en avoir au préalable demandé l'acceptation à son lecteur, sans l'avoir mis au nombre des postulats (1) par lesquels débute sa Statique ; serait-il donc d'une telle évidence que cette précaution logique fût, pour lui, inutile ? Mais, parmi les postulats explicitement formulés par Stevin, le premier est celui-ci : Des poids égaux, suspendus à des bras de levier égaux, sont en équilibre. Or il est n'est point niable que l'impossibilité du mouvement perpétuel constitue une proposition beaucoup moins évidente que cette dernière, car celle-ci n'a jamais été mise en doute, tandis que toutes les époques ont connu des chercheurs de mouvement perpétuel, qui n'étaient point tous des fous.

Où donc Stevin a-t-il puisé cette confiance absolue dans l'axiome de l'impossibilité du mouvement perpétuel, sinon dans les raisonnements de Cardan, raisonnements que Cardan lui-même a empruntés à Léonard de Vinci ? Sans doute, Stevin ne mentionne qu'un seul ouvrage de Cardan, l'*Opus novum de proportionibus* ; mais alors qu'il a lu attentivement et critiqué ce dernier ouvrage, comment ignorerait-il le *De subtilitate*, dont la vogue a été si grande ? Et s'il doit à la lecture du *De subtilitate* sa foi en l'impossibilité du mouvement perpétuel, cette foi n'est-elle pas un hommage indirect aux considérations que développe cet ouvrage touchant la puissance nécessaire pour maintenir une machine en mouvement ? Car sans ces considérations, que Stevin a très vivement blâmées, Léonard de Vinci et Cardan n'auraient pu justifier leurs attaques contre le mouvement perpétuel.

Ainsi, ceux mêmes qui prétendent édifier une Statique

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, Liber primus Staticæ, de Staticæ elementis. Postulata, p. 18.

parfaitement autonome, pleinement indépendante de tout appel aux lois du mouvement, se voient parfois contraints de recourir, plus ou moins explicitement, aux principes de la Dynamique.

Parmi les appendices à sa primitive Statique que Stevin inséra dans ses *Mathematica Hypomnemata*, il en est un (1) qui traite de l'équilibre des poulies et des moufles (*Trochleostatica*). A propos de ces mécanismes, il formule cette brève observation (2) : « Remarquez aussi qu'en ce cas, on peut appliquer cet axiome de Statique :

» *Ut spatium agentis, ad spatium patientis ;*
» *Sic potentia patientis ad potentiam agentis.* »

C'est le seul passage où Stevin fasse allusion aux considérations si souvent développées par les auteurs qui, avant lui, se sont occupés de Statique. De cette allusion, toute considération du rapport entre la *vitesse* de la puissance et la *vitesse* de la résistance est soigneusement exclue ; Stevin est, en cela, conséquent avec les critiques si vives qu'il avait adressées à l'énoncé péripatéticien du principe des vitesses virtuelles. Le *chemin* parcouru par la puissance et le *chemin* parcouru par la résistance sont seuls pris en considération, comme ils le seront systématiquement par Descartes, dont les recherches ont assurément subi l'influence de la Statique de Stevin. Cette influence indéniable donne une importance toute particulière au passage, si court, que nous venons de citer ; ce passage marque, en quelque sorte, un tournant dans la marche suivie par la science de l'équilibre.

La Dynamique péripatéticienne conduit de la manière

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, Additamentum Staticæ. Additamenti Staticæ pars secunda : De Trochleostatica ; p. 169.

(2) Simon Stevin, *loc. cit.*, p. 172.

la plus naturelle à déclarer que deux poids sont en équilibre lorsqu'ils sont inversement proportionnels aux *vitesses virtuelles* de leurs points d'application. Cet énoncé domine non seulement les Μηχανικὰ προβλήματα attribués à Aristote, mais encore maint écrit de l'École d'Alexandrie, les *Causes* de Charistion, le commentaire qu'en a donné Thâbit ibn Kurrah.

Un principe d'origine très distincte, bien que fort semblable au précédent dans ses effets, consiste à poser l'équilibre entre deux poids lorsque l'*abaissement virtuel* de l'un est à l'*élévation virtuelle* de l'autre comme le poids du second est au poids du premier. Implicitement admis, ce principe fournit à Jordanus sa théorie du levier droit ; le Précurseur de Vinci en tire, avec une admirable sagacité, la théorie du levier coudé et la loi du plan incliné.

Dans les écrits des géomètres du XVIe siècle, les deux principes, nés de pensées différentes, mais indistincts dans leurs applications, se trouvent constamment entremêlés. Léonard de Vinci, Cardan, les admettent tous deux et, bien souvent, on aurait quelque peine à décider si leurs raisonnements se réclament de l'un plutôt que de l'autre. Tartaglia, après avoir exposé la doctrine d'Aristote, emprunte la méthode inaugurée par Jordanus et son École. Enfin, Guido Ubaldo se refuse à tirer ses déductions de l'un ou de l'autre principe ; il les transforme l'un et l'autre en corollaires, mais, à ce titre, il les regarde comme équivalents et a toujours soin de les énoncer l'un à la suite de l'autre.

Galilée, qu'une tradition erronée nous montre jetant bas la Dynamique péripatéticienne et inaugurant la Dynamique nouvelle, garde, presque en toutes circonstances, le principe des *vitesses* virtuelles tel que l'a formulé Aristote ; c'est seulement d'une manière incidente, en de rares occasions, qu'il lui donne la forme du principe des *déplacements* virtuels. Au contraire, le staticien Stevin,

par ses attaques contre le principe péripatéticien, par la courte remarque que nous avons citée, fraye la voie à Descartes. Celui-ci fera aboutir les tendances issues à l'École de Jordanus ; il montrera comment le principe des *déplacements* virtuels sauve la méthode si féconde introduite en Statique par les péripatéticiens de la ruine où, sous ses coups et sous les attaques de Beeckman, s'effondre la Dynamique d'Aristote.

Il ne semble pas, d'ailleurs, que Stevin ait entrevu toute l'importance de la comparaison entre le chemin parcouru par la puissance et le chemin parcouru par la résistance. Dès longtemps, cette comparaison avait servi à condamner la prétention, attribuée à Archimède, de composer une machine si puissante que la force d'un homme suffirait à mettre en mouvement un poids aussi gros que la Terre ; fort justement, on observait que le chemin parcouru par cette résistance serait au chemin décrit par la main de l'homme comme la puissance de l'homme est à cet énorme poids ; en sorte qu'un mouvement, même très grand, de cette main ne donnerait à la Terre qu'un déplacement prodigieusement petit. Stevin rapporte cette objection, dont il ne pouvait contester le bien fondé, mais il ne paraît pas en avoir senti la gravité. « Bien que ce déplacement, dit-il (1), ne soit ni visible ni appréciable, cependant, la possibilité de produire une puissance infinie nous est démontrée et notre esprit la saisit ; si son action se poursuivait pendant de longs siècles, elle finirait par produire un mouvement visible... L'exclamation qu'Archimède lança autrefois, dans sa joie d'avoir découvert le *charistion* : « δός μοι ποῦ στῶ, καὶ κινῶ τὴν γήν, donnez-moi » un point d'appui et, de ce point, je tirerai la terre ! » ne doit pas être regardée comme l'énoncé d'une impossibilité ou d'une absurdité. »

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, Liber tertius Staticæ, de Staticæ Praxi ; 1ª Propositio : Infinitæ potentiæ formas et accidentia exponere ; p. 107.

Le passage d'où nous extrayons cette citation prête, d'ailleurs, à plus d'une remarque intéressante.

Sur la foi de Jacques Besson, Stevin affirme (1) que le *charistion* dont l'invention arracha à Galilée cette exclamation enthousiaste, était une machine propre à haler les vaisseaux sur une cale. La construction de cette machine reposait sur l'emploi de vis sans fin multiples. Elle avait été imaginée en vue du halage d'une galère immense que Hiéron, tyran de Syracuse, avait fait construire à l'intention du roi d'Égypte, Ptolémée ; le nom de *charistion* était une allusion aux formes gracieuses du navire. A la vérité, on ne comprend guère que cette tonture élégante ait fait donner ce nom non pas à la galère, mais à l'instrument qui permettait de la tirer au sec. Nous avons dit, d'ailleurs, au Chapitre V, combien peu de crédit, selon nous, méritait toute cette légende.

Au *charistion* d'Archimède, Stevin préfère pour le même usage, une machine qu'il nomme *pancration*, à cause de sa grande puissance, et qui n'est autre que notre moderne guindeau.

Stevin parle de ce guindeau, de sa construction, de ses effets, dans des termes tels qu'il serait difficile au lecteur de ne lui en point attribuer l'invention ; cette invention, cependant, remonte au moins à Héron d'Alexandrie ; non seulement Héron décrit ce guindeau (2) au commencement de son livre sur *L'élévateur*, mais encore Pappus en donne (3) la description d'après ce grand mécanicien ; il en attribue même l'invention à Archimède et c'est, selon lui, cette invention qui provoqua l'exclamation ambitieuse du grand géomètre de Syracuse. Or, il est certain que Stevin n'a pas connu l'ouvrage de Héron, car le manuscrit de la tra-

(1) Simon Stevin, *loc. cit.*, p. 101.

(2) Héron d'Alexandrie, *Les Mécaniques ou l'Élevateur*, publiées pour la première fois sur la version arabe de Qostâ ibn Lûkâ et traduites en français par Carra de Vaux ; Paris, 1894, p. 39.

(3) Pappi Alexandrini *Collectiones quæ supersunt* edidit F. Hultsch ; Berolini, 1878. Volumen III, p. 1060.

duction arabe de Qostâ ibn Lûkâ, récemment publiée par M. le baron Carra de Vaux, fut apporté par Golius (1596-1667) à la Bibliothèque de Leyde longtemps après la publication de la Statique de Stevin. Mais, en revanche, le grand géomètre de Bruges a sûrement eu connaissance des *Collections mathématiques* de Pappus. Il cite cet auteur (1) en lui empruntant sa définition du centre de gravité, qui se trouve (2) dans le même livre (livre VIII) que la description du guindeau.

Stevin, nous le voyons, ne poussait pas jusqu'au scrupule le soin de nommer ses prédécesseurs et de mentionner les emprunts qu'il leur faisait. Il suivait en cela, d'ailleurs, les errements coutumiers à tous ses contemporains ; un auteur ne citait guère ses précurseurs ou ses émules que lorsqu'il s'agissait de les combattre. De telles habitudes rendent fort malaisée la tâche de l'historien ; lorsqu'il veut démêler les influences qui ont pu suggérer à un géomètre une idée nouvelle, l'historien, bien souvent, en est réduit aux conjectures.

Stevin a-t-il connu les doctrines professées en Statique par l'École de Jordanus ? Il me paraît difficile d'en douter. Comment admettre qu'il n'ait eu en mains ni le traité publié, sous le nom de Jordanus, par Peter Apian, ni quelqu'une des nombreuses éditions des *Quesiti et Inventioni diverse* de Tartaglia ? Il a donc sûrement connu, par l'un ou l'autre de ces écrits, la notion de gravité *secundum situm*, notion à laquelle correspond si exactement celle qu'il désigne par le mot *sacoma*.

Stevin a-t-il connu le *Mechanicorum liber* de Guido Ubaldo ? Il a pu le connaître et en user au cours de ses recherches de Statique ; le *Mechanicorum liber* fut imprimé en 1577 ; la traduction italienne donnée par Pigafitta

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, Liber primus Staticæ, de Staticæ elementis, p. 6.

(2) Pappi Alexandrini *Collectiones quæ supersunt* edidit F. Hultsch ; Volumen III, p. 1052.

parut en 1581 ; tandis que la première édition de la Statique de Stevin est de 1586. Toujours est-il que l'un des grands titres de gloire de Stevin est d'avoir exactement résolu un problème que Guido Ubaldo avait simplement posé.

L'École de Jordanus, en effet, s'était contentée de considérer la *gravitas secundum situm*, c'est-à-dire la composante du poids suivant la trajectoire que peut prendre le mobile. Guido Ubaldo insista sur la nécessité de considérer aussi la composante du poids suivant la normale à cette trajectoire ; mais il a sûrement ignoré le moyen de déterminer ces deux composantes.

Stevin donna la règle selon laquelle le poids doit se résoudre en ces deux composantes rectangulaires, et la priorité de cette découverte ne lui saurait être contestée (1). Sans doute, Léonard de Vinci avait eu, un instant, une exacte connaissance de la règle selon laquelle un poids peut se décomposer suivant deux directions données; mais cette règle, il l'avait rejetée presque aussitôt qu'aperçue, et personne ne semble l'avoir remarquée dans ses notes, ni livrée au public.

Si Stevin est parvenu à décomposer correctement un poids en deux forces rectangulaires, il le doit à la solution du problème du plan incliné. Malgré l'originale ingéniosité de la méthode par laquelle Stevin a su résoudre ce problème, on ne saurait oublier que l'École de Jordanus l'avait non moins exactement résolu avant lui, ni douter qu'il ait connu les recherches de ses prédécesseurs.

(1) Nous avons dit, à la fin du Chapitre III, que Libri avait revendiqué pour Cardan l'invention de cette règle, et nous avons mis le lecteur en garde contre cette affirmation. Depuis l'impression du Chapitre III, nous avons pu contrôler l'assertion de Libri et reconnaître qu'au passage cité par celui-ci, Cardan avait parlé non de la règle de composition des *forces*, mais de la règle de composition des *vitesses*, connue déjà de l'auteur des Μηχανικὰ προβλήματα. Chose curieuse, Cardan croit que cette règle n'est exacte que pour des vitesses rectangulaires. — Cet exemple montre le cas que l'on doit faire des renseignements fournis par Libri.

Au moment où Stevin publia la première édition de sa Statique, les *Quesiti et Inventioni diverse* de Nicolo Tartaglia avaient eu cinq éditions, dont la plus récente datait déjà de trente-deux ans ; depuis vingt et une années, Curtius Trojanus avait fait imprimer le *Jordani opusculum de ponderositate ;* comment Stevin aurait-il ignoré la belle théorie du plan incliné donnée par le Précurseur de Léonard de Vinci ?

Il n'est donc pas douteux que l'œuvre admirable accomplie en Statique par le grand géomètre de Bruges n'ait, à plusieurs reprises, éprouvé la bienfaisante influence des idées émises, dès le XIIIe siècle, par Jordanus de Nemore et par les mécaniciens de son École.

Il est encore une découverte en laquelle Stevin avait été devancé, peut-être à son insu.

Les géomètres de l'École d'Alexandrie s'étaient efforcés de tirer de la loi du levier la démonstration de la proposition suivante : Un cylindre pesant, fixé au bras d'un levier de telle sorte que ses génératrices lui soient parallèles, équivaut à un poids égal suspendu à un fil dont le point d'attache se trouverait coïncider avec le centre du cylindre. Ce théorème jouait un rôle essentiel dans les quatre propositions attribuées à Euclide, dans le *Liber Charastonis* publié par Thâbit ibn Kurrah, dans le *De canonio ;* il terminait les *Elementa Jordani de ponderibus* (1).

Retournant, en quelque sorte, la démonstration suivie jusqu'à lui, Stevin a admis l'exactitude de cette proposition

(1) Ce principe n'a cessé de préoccuper les géomètres de l'antiquité et du moyen âge ; l'un d'eux a tenté de la justifier directement, par une sorte de généralisation de la démonstration que les Μηχανικὰ προβλήματα ont donnée de la règle du levier. Cette généralisation, tout imprégnée d'idées péripatéticiennes, repose sur une tentative pour définir ce qu'il convient d'entendre par grandeur du mouvement d'un segment de ligne. Elle se trouve en un fragment du XIIIe siècle, sans nom d'auteur, inséré à la suite du *Liber Charastonis* dans le Ms. 8680 A (latin) de la Bibliothèque Nationale (fol. 6 r. à fol. 7 r.).

et, fort élégamment, il en a tiré la preuve de la loi d'équilibre du levier. Galilée, dans la première journée des *Discorsi*, a exposé, postérieurement à Stevin, une déduction analogue.

Or, dès l'antiquité peut-être, dès le XIIIe siècle à coup sûr, on savait que la loi d'équilibre du levier pouvait se justifier de la sorte.

Une des nombreuses collections manuscrites (1) conservées à la Bibliothèque Nationale contient un fragment important dont l'élégante écriture gothique porte la marque du plus pur XIIIe siècle. On trouve, en ce fragment, une rédaction fort correcte du traité des poids spécifiques attribué à Archimède. Ce traité, nous l'avons dit, nous paraît apparenté au traité *De ponderoso et levi* attribué à Euclide et provenir, comme lui, de l'École d'Alexandrie.

A la suite de ce traité sur les poids spécifiques se trouvent réunies quelques propositions disparates qui pourraient bien avoir la même provenance.

La première de ces propositions a pour objet d'établir par la géométrie l'égalité que l'algèbre moderne écrirait sous la forme

$$(a - c)\, b = (a - b)\, c + (b - c)\, a.$$

Aussitôt après cette proposition vient une démonstration originale et élégante de la règle du levier ; résumons-la en quelques lignes.

On admet en principe que, quelles que soient leurs formes, deux poids égaux se font équilibre s'ils pendent aux extrémités de bras de leviers égaux.

Aux deux points a, b, équidistants du point d'appui c (fig. 77) sont suspendus deux poids égaux ; l'un d'eux, f, pendu en a, a une forme quelconque ; l'autre est un cylindre eg dont les génératrices sont horizontales ; le centre de ce cylindre est sur le fil vertical qui part du point b ;

(1) Bibliothèque Nationale (fonds latin), Ms. 7377 B.

ce cylindre est assez long pour que son extrémité g dépasse la verticale du point d'appui.

Remontons ce cylindre jusqu'à ce qu'il devienne contigu au levier et fixons-le en $e'g'$ à ce levier ; selon le postulat d'où se doit tirer notre démonstration, le levier demeurera en équilibre.

Mais il est évident que, sans troubler cet équilibre, nous

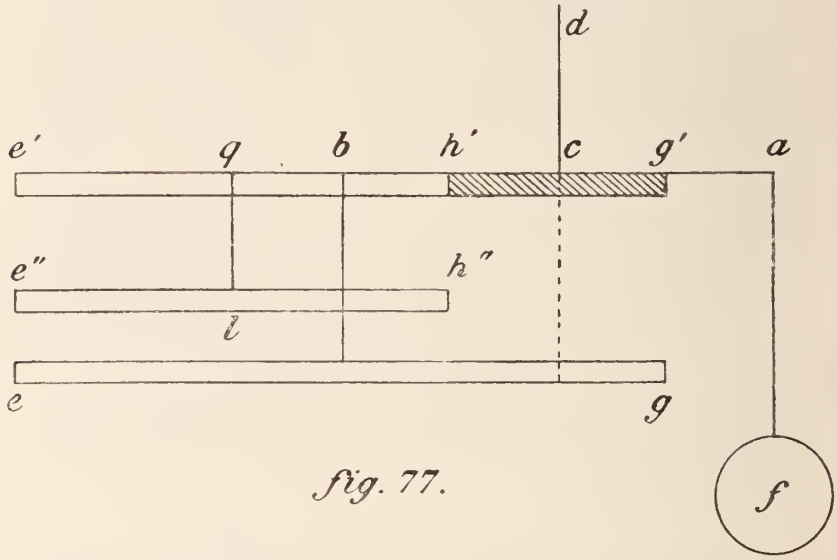


fig. 77.

pouvons retrancher de notre cylindre la portion cg' qui se trouve au delà de la verticale du point d'appui et une portion égale ch' en deçà de la même verticale ; en sorte que le cylindre $e'h'$, fixé au levier, fait équilibre au poids f, pendu en a.

Le cylindre $e'h'$, à son tour, peut, selon notre postulat, être remplacé par un cylindre égal $e''h''$ pendu à un fil qui s'attache au fléau en q, milieu de $e'h'$.

Si nous désignons par l le poids du cylindre $e'h'$ ou du cylindre $e''h''$, nous démontrerons sans peine que l'on a l'égalité

$$\frac{l}{f} = \frac{\overline{ca}}{\overline{cq}},$$

qui est la loi d'équilibre du levier.

Stevin a-t-il eu connaissance de cette démonstration ? Il ne nous est point possible de répondre à cette question. Quoi qu'il en soit, d'ailleurs, diverses conclusions nous paraissent hors de doute.

La première, c'est que Stevin a subi l'influence de ses prédécesseurs beaucoup plus souvent et beaucoup plus profondément que ses trop rares citations ne le laisseraient supposer.

La seconde, c'est que les germes semés en lui par les écrits d'autres géomètres ont pris, par ses méditations, un développement magnifique, souvent hors de proportion avec la graine dont son œuvre est issue ; en particulier, l'idée de résoudre une force en deux composantes, soupçonnée seulement par l'École de Jordanus et par Guido Ubaldo, a fourni à Stevin les théorèmes que nous admettons aujourd'hui et dont il a fait de nombreuses applications ; seul, Léonard de Vinci avait eu, avant Stevin, une vue aussi claire de la règle de composition des forces ; mais il avait lui-même méconnu sa découverte, et nul géomètre, semble-t-il, ne l'avait exhumée de ses notes.

La troisième conclusion, enfin, se peut formuler ainsi :

Malgré la complication et l'apparente rigueur de l'appareil logique que Stevin met en branle en chacune de ses démonstrations, il s'en faut de beaucoup que le géomètre de Bruges ait donné une preuve concluante de la règle selon laquelle il compose les forces concourantes ; après lui, cette règle attend encore qu'un géomètre l'établisse d'une manière entièrement convaincante ; ce sera l'œuvre de Roberval.

(A suivre.) P. Duhem.

LE PEUPLE JAPONAIS

L'Europe a vu apparaître à la fin du siècle dernier et elle contemple avec stupéfaction un phénomène prodigieux, unique dans les annales des peuples, contraire à tous les témoignages de l'histoire. Ce phénomène, c'est le spectacle que nous offre le Japon. Nous voyons un peuple abandonner d'un seul coup des coutumes quatorze fois séculaires, le régime féodal le plus intense pour leur substituer la plus raffinée des civilisations et remplacer un régime de despotisme théocratique par une monarchie constitutionnelle.

De nombreuses publications ont très bien exposé la réalité et l'importance des transformations accomplies dans l'Empire du Soleil-Levant en matière économique et militaire : ainsi les ouvrages de Rein en Allemagne, de Leroy-Beaulieu en France, de Norman en Angleterre sont des modèles du genre. Nous-même, nous avons tenté de mettre en lumière les changements réalisés dans le domaine politique (1). Toutefois, rien n'est moins connu encore que le peuple japonais. Les appréciations les plus divergentes ont été émises à ce sujet. Si, pour l'auteur des *Japoneries d'Automne* et de *Madame Chrysanthème*, le Japonais est « petit, bizarre, disparate, hétérogène, invraisemblable, mignon, extravagant, inimaginable, frêle, monstrueux, lilliputien, grotesque, maniéré, mièvre, etc... »,

(1) Th. Gollier, *Essai sur les Institutions politiques du Japon* (Bibliothèque de l'École des Sciences politiques et sociales de l'Université de Louvain). Bruxelles, Goemaere, 1903.

pour Haberlandt (1) il est... le Français d'Extrême-Orient: « il est franc, honnête, bon, fidèle, enfant, affectionné, loyal, etc... »

De fait, la plupart des Européens ne connaissent le peuple japonais que par les romans de P. Loti et de Champsaur, romans dont la valeur littéraire peut être très grande, mais qui ne peuvent donner qu'une idée, sinon absolument fausse, du moins très incomplète de l'âme japonaise. Les publications dont nous parlions tantôt, si importantes à certains égards, ont, nous ne savons pour quelles raisons, négligé complètement de nous éclairer là-dessus. Tout au plus, trouve-t-on quelques vagues indications à l'occasion des mœurs et des institutions du pays. La plupart des autres écrivains et publicistes qui se sont occupés du vieux Nippon ont imité également cette réserve. Nous allons essayer de combler cette lacune.

Un assez long séjour dans l'Empire du Soleil-Levant, la connaissance de la langue du Nippon et les avantages que nous conférait notre situation spéciale nous ont permis de nous documenter d'une manière particulière sur la question (2).

I

ORIGINE ET CARACTÈRES ANTHROPOLOGIQUES DU PEUPLE JAPONAIS

Il y a quelque trente ans, on n'avait sur l'ethnographie du Japon que des données vagues et insuffisantes, et il semblait que le Japon dût rester pour l'ethnographe ce

(1) Haberlandt, *Völkerkunde*, p. 169. Leipzig, 1898; Griffis, *The Mikado Empire*.

(2) Résumé d'un chapitre d'un ouvrage qui paraîtra prochainement : *L'Ethnographie de l'Extrême-Orient*, volume de 700 pages in-8°, orné de nombreuses gravures et de plusieurs planches hors texte.

qu'on prétend qu'il est pour le psychologue : une véritable énigme.

Au point de vue anthropologique cependant, la lumière s'est faite graduellement. On est même arrivé à retracer à travers les âges, la formation de la race japonaise et à en établir analytiquement la composition avec la précision d'un chimiste dosant les éléments des substances composées.

Aujourd'hui il est scientifiquement démontré que les Japonais constituent une race mixte issue du croisement de trois éléments : Mongol, Aïnos et Malais.

Les Aïnos étaient les aborigènes. Aussi loin que nous pouvons remonter dans l'histoire de l'archipel japonais, nous y constatons la présence de ces êtres bizarres, les plus poilus d'entre tous les hommes, à la tête allongée, aux arcades sourcilières très proéminentes, aux pommettes saillantes. D'où venait cette race qui n'est plus aujourd'hui qu'un objet de curiosité pour le philologue et l'ethnographe? Les avis sont très partagés parmi les spécialistes qui se sont occupés de la question. Les uns, tels que Van Schreuk et Chamberlain, prétendent que les Aïnos forment une race absolument isolée de toutes les races connues, tant par les caractères physiques que linguistiques. D'autres, tels que Dooman dans son *Origine of the Japanese race* — et nous inclinons à partager cette manière de voir — pensent que les Aïnos seraient des paléasiatiques, originaires des plateaux du sud de l'Himalaya comme les Ghilaks de l'Amour et certaines peuplades indoues avec lesquelles ils présentent certains traits de ressemblance.

Aujourd'hui, les Aïnos ne se rencontrent plus au Japon qu'à l'état erratique. Ils se meurent depuis de longues années. Accoutumés à vivre des produits de la chasse et de la pêche, ils ont vu diminuer considérablement ces deux sources de subsistance et, malgré les efforts réellement paternels du gouvernement mikadonal, ils semblent condamnés à disparaître. Les dernières statistiques évaluaient leur nombre à 17 000, éparpillés dans la partie nord-est

de l'île de Yeso, dans l'île de Sakkalin et quelques-unes des Kouriles.

Très différents des Japonais proprement dits, les Aïnos sont facilement reconnaissables à leur grande stature et au développement de leur système pileux. Au point de vue anatomique, on ne saurait les confondre. Chez presque tous, on constate un certain aplatissement de l'humérus et du tibia, caractère qui n'a jamais été observé que parmi les Européens des temps préhistoriques.

Au moral, les Aïnos sont plutôt bien doués. Ils sont doux, honnêtes et éveillés. Malheureusement, ils sont enclins, d'une façon démesurée, à l'ivrognerie, et leur manque de propreté est proverbiale. Le tatouage chez les femmes est la règle générale. Elles tatouent leur lèvre supérieure, leur nez et leurs bras. Chaque année, jusqu'à l'époque de leur mariage, les jeunes filles ajoutent un nouveau trait. Les hommes ont le devant de la tête rasé. Mais, contrairement aux Japonais, ils ne rasent jamais leurs sourcils. Ils ignorent le costume si connu de leurs voisins méridionaux. Ils portent une longue robe à larges manches, faite en été d'écorce d'orme et en hiver de peau. Les pans ne tombent jamais droit comme chez les Japonais; ils sont disposés de manière à ce que le pan droit puisse toujours recouvrir le pan gauche. La religion des Aïnos est le culte de la nature. Le soleil, le vent, l'eau, etc.... sont déifiés sous le nom de *Kamui*. L'ours est l'objet d'une vénération particulière; chaque année on organise des fêtes sacrées en son honneur. Nous avons assisté à ces cérémonies et nous en avons conservé un souvenir inoubliable. Pendant huit mois, un ourson est allaité comme un enfant par une femme aïnos. A l'automne, on célèbre une grande fête. On organise un festin dont l'ourson constitue le plat principal. En lui donnant le coup de mort, tous les Aïnos, dansant en rond, s'écrient : « Nous te tuons, ô ours, mais tu nous reviendras bientôt, dans un Aïnos. » Mort, l'ourson devient un fétiche. Sa

tête est érigée sur un pieu, devant la cabane où il a été allaité, et il la protège désormais contre tous les dangers.

Contrairement à ce que les ethnographes prétendent généralement (1), les Aïnos ne sont entrés que pour une part très infime dans la composition de la race japonaise. Certes, il y a eu des croisements et il y en a encore ; mais il est prouvé par d'innombrables cas que les produits de ce métissage deviennent stériles à la troisième ou à la quatrième génération. En somme, on peut dire qu'Aïnos et Japonais actuels se distinguent autant que les Blancs et les Nègres au Congo.

Il en est autrement de l'élément mongol. Celui-ci a joué dans la formation de la race japonaise un rôle tellement important, qu'on peut attribuer aux Nippons d'aujourd'hui une origine mongole ou ouralienne. Comme les Turkos, les Hongrois, les Tartares, les Mongols, les Thibétains, les Japonais appartiendraient à la grande famille des peuples dits ouralo-altaïques, qui, partis des plateaux du nord de l'Himalaya, se seraient étendus dans leurs migrations, des bords de la Baltique jusqu'au Pacifique, en passant par la Hongrie.

D'après l'hypothèse de Rein, la plus plausible d'entre toutes celles qui ont été émises, il y aurait eu deux invasions mongoles au Japon. Le laps de temps très considérable qui se serait écoulé entre ces invasions et la différence d'origine de ces deux courants — le premier venait du nord, et le second, du sud de la Mongolie — expliqueraient l'existence des deux types bien caractérisés que l'on trouve parmi les Japonais actuels. Les premiers Mongols se seraient croisés avec les Aïnos et avec les Malais, et auraient fourni ce type bien connu de tous les Européens qui ont visité le Japon : le *pudding-faced type*, comme disent les Anglais, le *Kuruma-ya* ou conducteur de

(1) Denicker, *Les Races et les Peuples de la Terre*, p. 435. Paris, Schleicher, 1900.

Jinrikshoos, l'homme du peuple aux traits grossiers, au corps trapu, à la face large, au nez aplati et à la bouche largement fendue. Le *type fin* serait le résultat de la seconde invasion. Ce type qu'on pourrait presque appeler le type aristocratique, car on le trouve uniquement dans la noblesse, est très différent du premier. Les caractères de l'un sont pour ainsi dire opposés à ceux de l'autre. Autant le type grossier est trapu, autant l'autre est élancé ; autant le nez du premier est aplati, autant celui du second est fin, droit ou convexe ; l'œil n'est plus oblique, mais droit; la face est plutôt allongée, les pommettes sont moins saillantes et le menton est moins arrondi.

A cette hypothèse de l'origine mongole des Japonais, on pourrait faire cependant un grave reproche. Tous ceux qui ont quelque peu étudié les langues extrême-orientales savent qu'il existe entre la langue japonaise et la langue chinoise, notamment, une ligne de démarcation nettement tranchée. Celle-ci est monosyllabique, tandis que celle-là est agglutinante. Or, quelle que soit la valeur des efforts qui ont été tentés pour démontrer l'évolution du langage, la preuve de la filiation de ces deux groupes de langues est toujours à fournir (1). Les théories de Grimm et de Scheicher doivent être, sous ce rapport, définitivement abandonnées.

Par contre, au point de vue physique, le moindre doute n'est pas permis, qu'il s'agisse du type fin ou du type grossier, le Japonais présente nettement les caractères mongols.

L'élément malais a fortement contribué également à la formation du type japonais actuel. Le fait, comme tel, est incontestable. Mais quand, où et dans quelles circonstances eut lieu l'invasion malaise, ce sont là autant d'énigmes qui restent encore à éclaircir et qui, peut-être, ne seront jamais résolues. La seule chose que l'on sache

(1) Keane, *Ethnology*, p. 206. Cambridge, University Press, 1901.

de science certaine, c'est la présence, à un moment donné de l'histoire, des Malais sur le sol japonais.

Il devait y avoir jadis des relations assez fréquentes entre le Japon et les îles de la Malaisie. Les goûts voyageurs des Malais, leurs migrations dans toute l'Océanie et même jusqu'à Madagascar, constituent, comme on le sait, un caractère propre de la race malaise. On peut même dire que les incursions des Malais au Japon devaient fatalement se produire par suite des facilités que leur présentait le voyage. Un courant marin part, en effet, des Philippines et contourne, en passant par Formose, toutes les îles japonaises. Fréquents, en outre, devaient être les naufrages sur les côtes japonaises, dans cet océan Pacifique secoué périodiquement par les terribles typhons. Bon gré mal gré, les Malais devaient donc aborder au Japon.

Toutefois, les preuves de la présence de l'élément malais au Japon sont plutôt d'ordre ethnographique que d'ordre anthropologique. Ainsi les habitations japonaises ressemblent étrangement aux habitations des Malais : même plancher construit sur des pieux élevés à trente ou quarante centimètres du sol ; existence, de part et d'autre, d'un pont reliant la porte d'entrée à la rue et passant, bien souvent, sur un petit ruisseau. Rein a trouvé le *lome-lome* des habitants de l'île Hawaï en tout point semblable au *hamma* des Japonais. L'amour des armes et du luxe, la passion pour les combats de coqs sont des caractères autant japonais que malais. Malais également sont les arcs, ainsi que quantité d'objets aratoires des Japonais des premiers siècles.

Le Japonais appartient aux races dites de petite taille (1). En moyenne, le type masculin ne dépasse pas 1 m. 57, le type féminin descend encore plus bas et donne une moyenne de 1 m. 46. Ces moyennes nous ont été four-

(1) Topinard, *Éléments d'anthropologie générale*, p. 463.

nies par nos propres mensurations et celles effectuées par le gouvernement sur les conscrits militaires. Chose remarquable, cette taille a, depuis quelques années, une tendance marquée à augmenter sensiblement. On sait qu'en général, le bien-être favorise l'accroissement de la taille et la misère la fait décroître (1). Or, depuis quelques années, le sort matériel des Japonais s'est considérablement amélioré par l'introduction de la viande dans son alimentation. En preuve je citerai le fait suivant. Il y a quelques années, le gouvernement japonais, toujours en quête d'améliorations nouvelles, voulut tenter une épreuve. On mesura les recrues qui entraient dans un régiment de la garnison de Tokio. Puis, pendant tout le temps du service militaire, on les soumit à un régime d'alimentation différente. Les uns continuèrent à se nourrir de poisson et de légumes ; les autres firent usage de viande. Au bout de quatre ans, les résultats de l'expérience étaient tellement concluants, au point de vue de la taille, que par ordre ministériel, l'usage de la viande devenait obligatoire dans toute l'armée.

Les Japonais ont les cheveux droits et toujours noirs. Ranke et Topinard (2) en ont calculé l'indice et sont arrivés à le fixer. Comme toutes les races aux cheveux droits, les Nippons sont très glabres en règle générale. Quand, par hasard, ils ont une barbe, celle-ci est composée de poils aussi clairsemés que possible. Par contre, les cheveux sont très abondants. Hilgendorf, en se basant sur de nombreux cas individuels, a calculé que les Japonais ont sur la tête de 252 à 286 poils par centimètre carré.

La couleur de peau des Japonais est très connue. Elle

(1) Voir FINAL REPORT BRIT. ASSOC., 1883, p. 17; HOUZÉ, BULL. SOC. ANTHR. BRUXELLES, 1887; Erismann, ARCH. F. SOZIALE GESETZGEB. Tübingen, 1888, t. I, etc.

(2) Topinard, *Élém. d'anthrop. génér.*, p. 265; Baelz, *Körperl. Eigensch. d. Japaner*; MITTH. DEUT. GESELL., *Nat. und Völker Ostasiens*, t. III, fasc. 28, p. 330; Ranke, *Der Mensch*, Leipzig, t. II, p. 173.

va du jaune pâle (*yellowish white*) au jaune épais (*yellow olive*) ; on rencontre même le jaune brun parmi les types où prédomine le sang malais (*dark yellow brown*). Les yeux sont toujours noirs. Ce n'est que parmi les métis, les *half-caste*, que l'on rencontre parfois des yeux clairs. Sous le rapport de la pigmentation, les Japonais présentent une particularité assez remarquable. Nombreux sont les nouveau-nés qui, lors de leur naissance, présentent des taches pigmentaires, tantôt sur les mamelons, tantôt sur le scrotum. Ces taches, dont on n'a pas trouvé l'explication, disparaissent graduellement avec l'âge mais quelques-unes subsistent encore à l'âge de cinq ans (1).

L'anatomie du Japonais est absolument celle du type mongol. Mais comme nous avons distingué deux types, le *type fin* et le *type grossier*, ainsi il faut distinguer deux indices céphaliques. La règle est la mésaticéphalie avec une tendance vers la dolichocéphalie, pour le premier type, et vers la brachycéphalie, pour le second. Quarante-huit mensurations, faites par nous, nous ont donné comme résultat moyen, pour le vivant, un indice céphalique de 78,4. Baelz a déterminé l'indice orbitaire et l'indice nasal. Trente et une mensurations lui ont permis de fixer à 88 l'indice orbitaire et à 49,5 l'indice nasal. Les Japonais sont donc mesorrhiniens.

Le crâne du Japonais présente un caractère très particulier. L'os molaire est divisé en deux par une suture. Cette particularité est tellement propre au Japonais qu'on a créé un mot spécial pour la désigner et on a décidé d'appeler la partie inférieure de l'os molaire, *os japonicum*. Les arcades sourcilières sont presque nulles ; par contre, comme toutes les races mongoles, les Japonais présentent des pommettes très saillantes. L'œil aussi est essentiellement de forme mongoloïde. Les oreilles sont plutôt menues que grosses.

(1) Baelz, *l. c.*, t. IV, p. 40.

Tels sont, brièvement résumés, les principaux caractères physiques des Japonais. Nous pourrions nous étendre plus loin et dire un mot de la capacité cérébrale, du poids du cerveau, des rapports existant entre les différents membres du corps, ainsi que des caractères physiologiques et pathologiques. Mais ce sont là, du moins quant aux Japonais, des traits génériques et non plus spécifiques.

Toutefois, si importants que soient les caractères anatomiques que nous venons de voir, ils le cèdent de beaucoup aux caractères psychologiques. Quels sont sous ce rapport les caractères intellectuels et moraux de la race japonaise ? Si, comme on le prétend (1), la civilisation d'un peuple dépend de sa constitution mentale, si cette constitution explique en grande partie son histoire, la réponse à cette question aura une grande importance pour la solution du problème que présente le Japon moderne.

II

CARACTÈRES PSYCHIQUES DU PEUPLE JAPONAIS

Au point de vue intellectuel, les Japonais, comme membres de la race jaune, ont de grands détracteurs parmi les Européens. Un académicien français, M. Faguet, grand contempteur de toutes les races non aryennes en général, refuse aux Japonais les dons supérieurs de l'intelligence. « Les jaunes, dit-il, sont incapables de tendances élevées, de haute curiosité désintéressée, de souci de progrès moral incessant » et, s'appuyant sur M. Fouillée, il ajoute « qu'après tout, la civilisation n'a jamais été faite jusqu'à présent que par les blancs ». Une hégémonie possible de la race jaune nous amènerait à un nouveau moyen âge.

Tous ces écrivains semblent identifier la civilisation

(1) Gustave Lebon, *Lois psych. de l'évolution des peuples*, p. 15. Paris, 1895.

avec la race. Mais c'est là une confusion inadmissible, car on identifie deux notions fort différentes : la notion de civilisation qui est une notion d'ordre psychologique et la notion de race qui n'est qu'une notion d'ordre physiologique. Et d'abord que faut-il entendre par ce concept : *une race ?* A en croire Novicow, la race ne serait, tout comme l'espèce dont elle dérive dans une certaine mesure, qu'une catégorie subjective de notre esprit, sans réalité extérieure. Mais la plupart des anthropologistes admettent l'existence de certaines races humaines avec, pour chacune d'elles, des caractères distinctifs et bien marqués ; ainsi pensent Cuvier, Lamarck, Geoffroy, de Quatrefages, Ratzel, Keane, etc. L'existence des races différentes une fois admise, il s'agit de savoir ce que l'on veut dire par ce mot *race*. Que ce soit là, comme nous le disions plus haut, une notion physiologique, aucun anthropologiste ne songe à le nier. Une race consiste en un certain nombre d'individus présentant les mêmes traits morphologiques : par exemple, la coloration de la peau, la section des cheveux, la taille, l'indice céphalique, etc... (1). Toutefois, il est très difficile, sinon impossible, d'établir le trait spécial qui pourrait servir de point de départ pour une classification des races humaines.

Mais, pour nous, la question se borne à voir si la civilisation est solidaire de la race et si, dans le cas qui nous occupe, son sort est lié à celui des Aryens, dolichocéphales ou brachycéphales.

Le trait qui semble différencier de la façon la plus radicale les diverses races qui peuplent notre planète est bien la coloration de la peau. Toutefois il est admis généralement que la couleur de la peau ne peut servir de trait primordial pour caractériser les différents groupements humains. On peut également affirmer qu'elle est

(1) Voir sur l'ensemble : de Quatrefages, *Espèce humaine*. Paris, Alcan, 1896.

absolument étrangère à toute question de civilisation, car vouloir confondre celle-ci avec celle-là, dire par exemple que les Européens sont plus civilisés que les Japonais parce qu'ils sont blancs tandis que les fils de l'Empire du Soleil-Levant sont jaunes, ce serait faire dépendre la civilisation du pigment du corps muqueux qui se trouve entre le derme et l'épiderme, pigment dont la quantité et la couleur varient selon les races.

Les différences de caractères anatomiques ne peuvent pas non plus prouver que la race jaune est incapable de civilisation. On admet aujourd'hui généralement que la supériorité fondamentale d'une race ne se traduit pas au dehors par un signe matériel. Qu'il y ait un rapport entre l'intelligence humaine et le cerveau, la chose est indéniable. L'homme est une âme informant un corps, une intelligence servie par des organes ; meilleurs seront ces organes, d'autant plus convenablement pourra s'exercer cette intelligence. Mais quel est ce rapport, quelle est cette relation, c'est ce qu'on est loin de pouvoir établir d'une façon tant soit peu exacte. Une des nombreuses hypothèses émises dans cet ordre d'idées fait dépendre l'intelligence de la capacité crânienne. De cette façon-là les Dahoméens seraient avec les Auvergnats le peuple le plus intelligent de la terre.

D'après le tableau ci-dessous, il y aurait plutôt lieu de s'enorgueillir d'être sujet de l'ancien Behanzin que d'être Parisien.

RACES	HOMMES	FEMMES
Caverne de l'Homme Mort, pierre polie . . .	1616 (1)	1507
Bretons gallois	1599	1426
Auvergnats	1598	1445
Basques espagnols	1574	1356
Bas-Bretons	1564	1366
Parisiens contemporains	1558	1337
Guanches	1557	1353
Corses	1552	1367

(1) Ces nombres représentent des centimètres cubes.

RACES	HOMMES	FEMMES
Esquimaux	1539 (1)	1428
Chinois	1518	1383
Mérovingiens	1504	1361
Néo-Calédoniens	1460	1330
Nègres de l'Afrique occidentale	1430	1231
Tasmaniens	1432	1201
Nubiens	1329	1298
Australiens	1317	1181

Le poids du cerveau ne paraît pas, lui non plus, avoir la moindre influence sur l'intensité de l'intelligence à laquelle il sert d'organe. Le poids moyen des cerveaux des Européens adultes est environ 1205,88 grammes. Mais Broca a eu en sa possession un cerveau de nègre qui pesait 1500 grammes, et Wyman a rencontré dans le cours de ses recherches un cerveau d'Hottentot du poids de 1417 grammes. Le cerveau du grand minéralogiste Hausmann, correspondant de l'Institut de France, ne pesait que 1226 grammes.

Retzius avait considéré, pendant longtemps, l'indice céphalique comme pouvant servir à classifier les races humaines. Aujourd'hui cette hypothèse est abandonnée par la plupart des anthropologistes.

D'ailleurs, rien que parmi les dolychocéphales et les brachycéphales, l'indice oscille entre 75 et 94. A en juger également d'après l'indice céphalique, le cerveau du Chinois et du Japonais se rapprocherait étrangement du cerveau de beaucoup d'Européens et entre autres de celui du Belge, car Pruner Pey, dans son calcul des indices des diverses races humaines, a établi que l'indice céphalique du Belge pouvait s'exprimer par 79, celui du Chinois par 77. On voit que la différence est légère.

Au point de vue physiologique, un examen complet et attentif des faits ne semble pas permettre d'affirmer l'infériorité intellectuelle des races étrangères à l'Europe. C'est l'opinion de M. de Quatrefages, partagée par beau-

(1) Ces nombres représentent des centimètres cubes.

coup d'autres anthropologistes. Des savants éminents, tels que Broca et Gratiolet, ont étudié d'une façon approfondie la question si ardue et si importante des rapports plus ou moins grands à admettre entre le développement de l'intelligence et celui du cerveau. Après bien des travaux et bien des recherches, les savants français ont dû renoncer à établir d'une façon incontestable et absolument certaine la relation de l'intelligence avec l'un ou l'autre des indices physiologiques. Pour Gratiolet, « la force qui vit dans le cerveau et qui ne peut être mesurée que par ses manifestations est bien au-dessus du poids et de la forme de celui-ci ». A cette déclaration déjà bien suffisante, Broca ajoute qu'il ne peut venir à la pensée d'un homme éclairé de mesurer l'intelligence en mesurant l'encéphale.

De tous les faits qui viennent d'être exposés il résulte qu'il n'est pas permis de prétendre *à priori* que la civilisation soit une question de race. Pour prouver qu'il y aurait incompatibilité entre la peau jaune et les facultés mentales, il faudrait pouvoir mesurer la puissance virtuelle du cerveau humain, chose qui ne paraît pas facile, sinon impossible. Il semble que le meilleur moyen de juger de l'intelligence de la race jaune serait de l'étudier dans ses manifestations. Quittons donc le domaine des hypothèses et du raisonnement pur, et voyons si les faits brutaux corroborent notre façon de voir.

L'intelligence ne passe pas de la puissance à l'acte par elle-même ; pour qu'elle se manifeste, qu'elle s'exerce, il faut lui fournir un aliment. Pour juger l'intelligence de la race jaune, il ne faut pas la considérer là où elle est restée à l'état de simple puissance, pour ainsi dire, mais il faut la voir là où les circonstances sociales l'ont sollicitée à des manifestations plus ou moins nombreuses. Le Japon, sous ce rapport, présente les meilleures conditions possibles. De tout temps, on avait considéré le Japonais comme étant d'une intelligence très inférieure à celle des Aryens et les faits semblaient donner raison à cette

opinion, car les États du Mikado étaient restés plongés dans un isolement dix-huit fois séculaire, s'abstenant volontairement de toute relation avec les pays civilisés, ne participant en rien à la civilisation qui s'étendait graduellement dans les autres parties du monde. Mais un jour les circonstances sociales ont changé du tout au tout. Les Japonais se sont lancés subitement dans le mouvement civilisateur et aujourd'hui les résultats auxquels ils sont arrivés dans les sciences, dans les arts, dans l'industrie prouvent qu'on s'est absolument trompé sur leur virtualité cérébrale. Jamais, en aucun temps, les peuples de race blanche n'avaient donné un tel exemple d'activité intellectuelle.

En moins de vingt ans, les Japonais fondaient deux universités près desquelles ils instituaient un cours de psychophysiologie, cours qui n'existe pas encore dans nombre de nos universités européennes. Ils établissaient 47 écoles normales, des écoles supérieures ou lycées, des écoles des arts et métiers, des écoles militaires et navales, des écoles industrielles et commerciales, des prytanées pour l'armée et, cette année, par suite de la générosité de la richissime famille des Mitsui, Tokio voyait s'ouvrir une université pour femmes. Le tableau ci-dessous nous dispensera d'une plus ample énumération (1).

ETABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT

DÉSIGNATION	NOMBRE D'ÉTABLISSEMENTS	PERSONNEL ENSEIGNANT	POPULATION DES ÉCOLES
Écoles primaires	26 860	79 299	3 994 826
» moyennes ordinaires	159	2 508	55 691
» supérieures ou lycées	6	545	4 456
Universités impériales	2	198	2 255
Écoles supérieures militaires	2	44	129
» normales ordinaires	47	720	8 830
» » supérieures	2	105	644
» spéciales et techniques	272	2 589	56 614
» supérieures de filles	26	510	6 799
» diverses	1 152	5 180	71 987
	28 508	89 094	4 180 211

(1) Extrait du *Résumé statistique de l'Empire du Japon*, 1909.

En 1898, on comptait plus de neuf cents journaux et publications périodiques de toute sorte : sociales, religieuses, littéraires, politiques, scientifiques, revues de droit et même de mode. Tokio, à lui seul, possède 22 journaux politiques et plus de 120 revues périodiques avec des tirages mensuels respectifs de 4 à 5 1/2 millions d'exemplaires.

Mais cette capacité intellectuelle établie, cette unité dans le genre démontrée, nous pouvons nous occuper de l'espèce et voir en quoi l'esprit japonais diffère de l'esprit européen, car chaque race, chaque peuple a son génie particulier, sa tournure d'esprit propre.

Combinaison harmonieuse de toutes les antinomies de la nature humaine, le Japonais est à la fois un être éminemment actif et passif, violent et doux, sceptique autant que religieux, orgueilleux à l'extrême et obséquieux comme tout bon oriental, complètement privé de l'esprit d'initiative et doué d'une faculté d'assimilation qui tient presque du prodige.

Combatif et courageux comme peuvent seuls l'être les habitants d'un pays soumis pendant seize siècles au régime militaire, le Japonais ne craint pas la mort et professe le même mépris de la vie que les fakirs de l'Inde. Le sentiment de l'honneur est développé chez lui à l'excès et a causé la plupart de ces vengeances terribles dont l'histoire du Japon est ensanglantée. Ces qualités, qui font du Japonais le meilleur soldat qui soit, ont été mises dans une pleine lumière par les événements de Chine où l'on a été témoin des prodiges accomplis par leur bravoure, leur esprit militaire et leur mépris absolu du danger.

Le trait le plus remarquable du caractère japonais, celui qu'on a le plus étudié sans pouvoir jusqu'ici en donner une explication suffisante est une faculté d'imitation et d'assimilation prodigieuse. Rien n'est plus certain et rien n'est mieux démontré par l'histoire.

Les peuples de l'Occident tenaient leur civilisation des Grecs et des Romains ; ils s'étaient policés en acceptant les mœurs, les sciences et les arts de nations déjà policées et en transformant cette civilisation étrangère ils l'avaient rendue originale. Mais toujours cette imitation s'était faite graduellement, insensiblement ; elle avait été l'ouvrage de plusieurs générations et même parfois de siècles. En outre, cette absorption d'éléments étrangers rencontrait toujours des obstacles et des limites : des obstacles dans l'esprit conservateur, dans l'amour des traditions nationales, dans le misonéisme existant partout ; des limites dans l'incompatibilité existant entre le peuple civilisateur et la civilisation, et les institutions assimilées.

Au Japon rien de pareil, et c'est ce qui fait de l'Empire du Mikado une véritable énigme pour tous ceux qui se livrent à l'étude de la psychologie des nations. Sous ce rapport, le Japon semble donner un flagrant démenti à toutes les lois de l'évolution des peuples.

Au commencement de son histoire, le Japon reçoit de la Corée tous les éléments de sa civilisation. Quelques siècles plus tard, il se met à l'école de la Chine et lui emprunte ses institutions, ses arts et sa religion. Comme il avait dépassé la Corée, il ne tarde pas à dépasser la Chine et d'élève il devient bientôt professeur. Cette assimilation extraordinaire ne connaît aucune limite et ne se laisse arrêter par aucun obstacle. Le passé tombe dans l'oubli ; les historiens seuls le feront surgir plus tard. La société nouvelle qui se forme n'évoque plus en rien l'aspect de l'ancienne : usages, coutumes, manières de parler et jusqu'à la manière de penser, tout est changé. Cependant, la logique ne perd jamais ses droits. Après quelque temps, une réaction se manifeste et il se produit un travail de transformation, d'optation et d'élimination. Les Japonais modifient ces institutions que dans leur orgueil de tout comprendre et de tout essayer, ils avaient adoptées ; ils les perfectionnent et les adaptent à leurs nouvelles condi-

tions. Quant à ces institutions dont l'expérience leur montre l'incompatibilité absolue, ils les éliminent graduellement. Ainsi en fut-il au IIIe siècle; ainsi en fut-il encore aux VIIe et VIIIe siècles et ainsi en est-il aujourd'hui.

Mais cette qualité n'est pas sans défaut ; elle a inspiré aux Japonais ce sentiment d'orgueil que les étrangers leur reprochent si souvent. Convaincus de la supériorité de l'Empire du Soleil-Levant sur tous les autres pays du monde, oublieux des grands services que les étrangers leur ont rendus, les Japonais sont trop portés à exagérer leur importance et à dédaigner un peu trop légèrement les Barbares d'Europe.

On sait qu'Hegel dans la *Philosophie du droit*, soutient que le monde se développe en trois époques : la dernière, la plus grande, sera l'époque allemande. Alors, un seul peuple représentera l'esprit du monde et, comblé d'honneurs et de prospérité, il dominera sur les autres nations par l'irrésistible puissance de l'intelligence. En face de lui, les autres peuples ne conserveront aucun droit. Il est plus d'un écrivain japonais qui partage les idées d'Hegel, quant au Japon. Cependant, il faut dire que dans les sphères supérieures on s'efforce de combattre cette tendance qui, poussée trop loin, pourrait avoir des effets très funestes et il est à espérer que, les relations avec les étrangers devenant de plus en plus intimes, elle finira par disparaître.

Capable de tendances élevées et de haute curiosité mentale, quoi qu'en disent M. Faguet et autres pro-aryens, le Japonais cependant a une meilleure compréhension de l'individuel et du concret que du général et de l'abstrait. Il ne sait pas généraliser, sa pensée ne s'étend pas par ondes successives, il reste volontiers dans le fait, dans le particulier. En cherche-t-il l'explication, les causes immédiates, des causes secondes, des causes qui sont encore des effets, suffisent pleinement à satisfaire sa curiosité.

Des faits, des rapports, disent-ils avec Taine, il n'y a

rien d'autre. Mauvais généralisateurs, par conséquent, les Japonais, par contre, sont de très bons observateurs, car ils possèdent un esprit d'analyse fortement développé et nul n'est mieux doué qu'eux sous ce rapport, pour l'emploi de la méthode expérimentale.

De toutes les nations qui peuplent l'univers, le Japon est peut-être celle où les esprits se sont le moins livrés aux spéculations philosophiques. La nature a été trop prodigue à l'égard des Japonais, elle les a comblés de ses bienfaits. En retour, ils ont été trop reconnaissants à cette bonne mère qui leur tendait les bras, ils se sont abîmés dans la contemplation des merveilles qu'elle avait répandues à pleines mains dans leur beau pays et leur attention a été tout entière accaparée par les splendeurs dont ils étaient environnés. Leur pensée n'a pas su aller au delà de ce ciel d'un bleu éternel : « la nature leur souriait, ils ont souri à la nature » ; la voyant si bonne et si belle, ils n'ont pas pu croire qu'elle n'était qu'une terre créée comme eux et pour eux. L'effet leur paraissait trop beau, trop admirable, pour qu'ils crussent qu'il ne fût que tel ; là, où nous voyons un effet, ils ont vu une cause et au lieu d'adorer la cause ils ont adoré l'effet.

Le besoin d'agir et l'inquiétude éternelle, a-t-on dit, sont les deux caractéristiques des peuples européens. La première peut être attribuée au peuple japonais, mais la seconde ne lui appartient certes pas. De tout temps, les croyances religieuses ont exercé une grande influence sur l'intelligence humaine. La raison médite sur ce que l'autorité propose à croire. Vingt siècles de panthéisme naturaliste ont façonné l'esprit japonais et cantonné l'art dans la contemplation étroite et l'étude exclusive de la nature. Pourquoi est-il ici-bas ; à quelle fin, dans quel but ? Comment doit-il user de sa liberté et dans quel sens doit-il diriger sa conduite ? Toute l'existence est-elle renfermée dans cette vie, et pourquoi cette foule de désirs et de facultés que cette vie ne contente pas ? L'homme lui-même,

qui est-il ? Qu'est-ce que l'âme ? Qu'est-ce que le corps qu'il touche et qu'il voit ? Quelle est l'union et la dépendance de ces deux natures ; comment se forme-t-elle à l'heure de la naissance, et comment se rompt-elle à l'heure de la mort ? Ce sont là des questions que l'esprit japonais n'a jamais cherché à résoudre d'une façon sérieuse et complète. Les paroles fameuses de Jouffroy : « Comment vivre en paix quand on ne sait ni d'où l'on vient, ni où l'on va, ni ce que l'on à faire ici-bas, quand tout est énigme, mystères, sujet de doute et d'alarme ? » n'ont pas de sens pour les Japonais, semble-t-il. Ils vivent en paix et heureux au milieu d'une nature qui fait de leur pays un Éden terrestre.

Toutes les croyances religieuses des Japonais sont renfermées dans le Hoziki. Au commencement, dit la Bible shintoïste, il n'y avait que le chaos. Les ténèbres enveloppaient les ténèbres et rien n'existait sauf les dieux. Deux de ces divinités, le dieu Yzagani et la déesse Isanami, étaient assis au bord du firmament et admiraient les vagues de l'océan. Yzagani laissa tomber sa lance dans la mer qui se trouvait sous ses pieds ; après l'avoir retirée, il secoua les gouttes qui ruisselaient le long de son arme et ces gouttes, retombant dans la mer, produisirent chacune, une des grandes îles du Japon d'aujourd'hui. Yzagani et Isanami descendirent alors dans une des îles qu'ils venaient de créer ; ils s'y marièrent et enfantèrent successivement, dans les autres îles de l'archipel, trente-cinq divinités dont Amaterasu, la déesse du Soleil. Bientôt une lutte se produisit entre les dieux et la victoire resta à Amaterasu qui devint maître du Japon.

Quelle est, au fond, la religion du Hoziki ? Il semble qu'elle soit celle des Rig-Veda, une sorte de panthéisme naturaliste. Les dieux ont bien créé le Japon, mais le reste de la terre est sorti du chaos sous l'action des forces naturelles. Dans les spéculations et les méditations philosophiques de la religion sacerdotale, le panthéisme est

évident. La Terre, chante un poète dans le Takasago, est la Mère, le Grand Tout. « De la Terre toutes les créatures ont reçu l'être et la vie ; toutes aussi mêlent leurs voix à l'hymne universel. Grands arbres et petites herbes, pierres, sable, le sol que nous foulons, les vents, les flots, toutes les choses, toutes ont une âme divine. Le murmure des brises dans les bois au printemps, le bourdonnement des insectes dans les herbes humides de l'automne, autant de strophes du chant de la Terre : soupirs de la brise, fracas du torrent, autant d'hymnes de la vie, dont tous doivent se réjouir. »

L'homme, à sa mort, retourne dans l'infini avec lequel il se confond, avec lequel il s'identifie. Sa vie, sur la terre, ne lui appartient pas, il doit la consacrer à la patrie qui est une création divine. La morale est essentiellement patriotique et ses préceptes sont si simples qu'on a pu dire avec beaucoup d'apparence de raison qu'elle n'était que l'ombre de la morale. D'après le shintoïsme, l'homme est aussi essentiellement bon : il repousse donc le péché originel et c'est là l'obstacle le plus insurmontable qui s'oppose à la propagation du christianisme chez le peuple Japonais. « Les Japonais, dit un philosophe shintoïste, sont honnêtes et droits dans leur cœur. Le Japonais n'a qu'à suivre sa conscience et poser tous les actes qui peuvent tendre à son bonheur. »

Au ve siècle après Jésus-Christ, les Chinois et les Coréens introduisent le bouddhisme au Japon. Moins de cinquante ans plus tard, le bouddhisme était devenu la religion de plus de la moitié du peuple japonais. Il avait ses philosophes, ses prêtres qui défendaient vigoureusement les nouvelles doctrines, contre les attaques des partisans de l'antique religion. Ces discussions et ces controverses durent jusqu'au IXe siècle pendant lequel, à l'instigation d'un prêtre shintoïste, Kabadaiski, il s'opéra non pas une fusion entre les deux religions, mais une sorte de juxtaposition qui dure encore.

La philosophie de Bouddha et de ses disciples est aujourd'hui universellement connue. Comme le shintoïste, le bouddhiste ne parle jamais de Dieu, mais il croit aussi à l'existence des dieux supérieurs à l'homme. Barthélemy Saint-Hilaire réduit aux quatre points suivants la philosophie bouddhique : 1° les quatre vérités sublimes ou la douleur universelle, les passions, cause de la souffrance, le Nirvana ou fin de la douleur, et la vertu comme voie qui mène au Nirvana ; 2° la transmigration des âmes ; 3° l'enchaînement des causes ; 4° le Nirvana ou l'anéantissement complet.

Les Japonais en s'assimilant les théories de Bouddha leur firent subir des modifications assez importantes. De nombreuses sectes ne tardèrent pas à se former, et l'unité de doctrine ne fut maintenue qu'à grand'peine. Daishi, fondateur du plus grand monastère du Japon, et Kukai, l'un des meilleurs philosophes bouddhiques de cette époque, commentent, dans de nouveaux ouvrages, la doctrine de Bouddha. Ils nient la réalité du monde extérieur d'après un raisonnement que Schopenhauer fera sien plus tard : « Le monde extérieur, dit Kukai, n'existe pas, il n'a aucune réalité objective, car il est l'œuvre de l'intelligence. Or, l'intelligence est l'œuvre du cerveau et celui-ci, continue Kukai, appartient au monde extérieur. »

Au XVIe siècle, saint François Xavier fait connaître le christianisme aux Japonais. Avec le christianisme qu'il détruira plus tard par les persécutions les plus sanglantes, le Japon reçoit les sciences et la civilisation de l'Europe. Une fois de plus nous allons avoir un exemple de l'extraordinaire facilité d'assimilation des sujets du Mikado. Bien accueillis par les daïmios, qui protègent leur œuvre de prosélytisme, les missionnaires ne tardèrent pas à voir leurs efforts couronnés d'un plein succès. Au XVIIe siècle, le Japon compte plus de six cent mille chrétiens, dont un grand nombre de seigneurs féodaux ; plus de deux cents églises s'élèvent sur tous les points du territoire et les

jésuites bâtissent à Kyoto une cathédrale, devant le palais même du Mikado. « Cette nation fait les délices de mon cœur », écrivait saint François Xavier à ses supérieurs. Les princes chrétiens, pour témoigner leur vénération et leur amour au Vicaire du Christ, lui envoient une ambassade que le Pape Sixte-Quint reçoit en grande pompe.

Ce mouvement qui entraînait le Japon vers le christianisme, s'il n'avait pas trouvé d'obstacle, eût pu modifier profondément l'histoire subséquente du Japon. Les jésuites avaient apporté avec eux les sciences et les arts européens; ils avaient ouvert des imprimeries dans toutes leurs missions et faisaient passer dans la langue japonaise les principaux ouvrages scientifiques d'Europe ; les grammaires, les dictionnaires, les encyclopédies se multipliaient dans toutes les mains. On ne sait jusqu'à quel point aurait pu aller cette première tentative d'européanisation du Japon, quand une réaction aussi subite que violente éclata.

On a beaucoup discuté les causes de cette réaction imprévue, qui eut comme conséquence pour le Japon une réclusion trois fois séculaire. Mais aujourd'hui il est définitivement acquis que ces causes furent d'ordre religieux et d'ordre politique. Les chrétiens furent tous englobés dans une guerre civile, autour des chefs des clans de Kiushu. L'insurrection réprimée par les Tokugawas, les chrétiens furent persécutés et exterminés, par suite de leur qualité de chrétiens et comme insurgés contre le gouvernement établi. Le premier édit de persécution est lancé en 1614 par Ieyas. Neuf missionnaires européens et près d'une centaine de chrétiens indigènes sont mis à mort à Nagasaki ; les jésuites sont chassés, et le peuple forcé d'abjurer les doctrines qu'il venait d'adopter. La persécution atteint son apogée sous les deux successeurs d'Ieyas : Hidetata et Iemitsu. Elle englobe

alors tous les étrangers : défense absolue est faite aux Européens d'entrer au Japon.

Les Hollandais et les Chinois seuls conservèrent le droit de commercer avec les sujets du Mikado, et encore étaient-ils confinés dans les deux ports d'Hirado et de Nagasaki. Volontairement le Japon se ferme hermétiquement aux étrangers, et il ne sortira de cette réclusion qu'au XIXe siècle, lorsque le canon des flottes européennes viendra faire éclater en morceaux ces barrières anticivilisatrices que l'ignorance du moyen âge avait fait élever.

Au XVIIe siècle, les Chinois introduisent dans l'Empire du Soleil-Levant les doctrines délétères du confucianisme, doctrines qui prépareront les Japonais à recevoir dans la suite les théories non moins délétères et non moins funestes du positivisme. En réalité, on le sait, le confucianisme est une philosophie positiviste. Confucius enseignait les lettres, la morale et la sincérité. Des choses extraordinaires et des êtres surnaturels, il n'aimait pas à parler : « Les morts savent-ils ou ne savent-ils pas? Voilà une question, disait-il, dont nous n'avons nullement à nous préoccuper dans le présent. » Comme le shintoïsme, le confucianisme érigeait en dogme la bonté native de l'homme. La bienveillance était le trait caractéristique de l'humanité et l'homme était né pour la vertu.

Pendant le XVIIIe siècle, les trois philosophies se disputent la prépondérance qui, au siècle suivant, semble échoir au confucianisme. Au moment où la révolution met brusquement les Japonais en contact avec la civilisation occidentale, le confucianisme triomphait sur toute la ligne. Les princes, les daïmios, les nobles feudataires et la partie éclairée de la population étaient imbus de cette philosophie matérialiste qui allait bientôt faire place à sa consœur cadette, le positivisme.

Mis par la révolution de 1858 en contact subit et un peu forcé peut-être avec la civilisation européenne, les Japonais ne tardèrent pas à subir une véritable griserie

de la part de notre vieux continent. Autant ils cherchaient jadis à éloigner les étrangers de leur pays, autant ils aspiraient maintenant à entrer en relations avec les barbares. Ils leur empruntaient leurs sciences, leurs arts, leur industrie et leur commerce. Le gouvernement envoya en Europe des missions composées des hommes les plus éminents pour étudier la vieille civilisation occidentale. Toutes les sciences européennes furent l'objet de l'étude ardente des Japonais. Les plus éclairés des sujets du Mikado, les plus intelligents d'entre les Kugés, avides de savoir, vinrent s'abreuver aux sources de la philosophie allemande et française, et ceci nous ramène à notre sujet.

On a appelé à juste titre, la seconde moitié du siècle qui vient de finir, une époque de scepticisme religieux et de fétichisme scientifique, mais jamais ce caractère n'avait été plus manifeste qu'au moment où le Japon s'ouvrait à la culture européenne. La science s'était égarée, rapetissée, rétrécie dans son domaine et ravalée au service des sens et des jouissances sensuelles. En Allemagne, Büchner, Moleschott, Vogt, Haeckel avaient fait triompher, en philosophie, le matérialisme le plus abject. L'homme que Strauss, dont les ouvrages seront bientôt traduits en japonais, faisait sortir du limon de la Chaldée, n'avait pas d'âme, à moins d'appeler ainsi le produit d'une combinaison chimique spécifique de la matière. La pensée avait pour principe le phosphore : entre elle et le cerveau il y avait le même rapport qu'entre la bile et le foie, ou l'urine et les reins. Comme si tout ce demi-monde de la science avait été saisi de la rage d'avilir l'homme, de le faire tomber aussi bas que possible, on faisait des efforts inouïs pour l'assimiler à l'animal ; à peine voulait-on admettre une différence de degré. On niait la responsabilité et le libre-arbitre. La volonté de l'animal, disait Haeckel, comme celle de l'homme n'est jamais libre. Quant aux philosophes assez ignorants de toutes ces grandes découvertes de la science pour voir encore dans l'homme une créature abso-

lument distincte par sa nature des autres êtres, avec une âme spirituelle et immortelle, douée de liberté et ayant pour créateur un Dieu personnel, il fallait les considérer, disait le même Haeckel, comme inférieurs aux chiens, aux chevaux et même aux éléphants.

Ce que devaient devenir, dans un tel milieu, de jeunes intelligences qui arrivaient pleines de candeur et de naïveté, éprises de la plus grande admiration pour la science, prêtes à croire à l'infaillibilité de ses pontifes, privées de toutes les croyances solides qui auraient pu les mettre en garde contre les sophismes en vogue, on le devine sans peine.

L'atmosphère philosophique française n'était pas moins imprégnée, pour ne pas dire saturée, de théories aussi délétères. Les étudiants japonais apprenaient de Littré et de Renan qu'on venait de trouver un nouveau dogme qui expliquait l'univers par des causes qui sont en lui. Le principe le mieux assis de la philosophie naturelle, c'était que le développement du monde se faisait sans l'intervention d'aucun être extérieur. On leur disait que croire au surnaturel, à l'âme, à la vie future, c'était être en dehors de la science, le problème de la cause suprême ne se résolvant qu'en poèmes et non en lois. On leur faisait même espérer que la science, maîtresse un jour de la vie, pourrait peut-être en modifier les conditions. « Qui sait, s'écriait Renan, si une biologie omnisciente ne nous fera pas vivre toujours ! »

Le monde, lui, n'était « qu'une efflorescence de la matière brute, un composé de molécules simples de matériaux inorganiques ». L'absence de Dieu dans cet univers était si bien prouvée, selon l'auteur de l'*Abbesse de Jouarre*, que « l'athéïsme était logique et fatal ».

Le Japon avait demandé à l'Europe la vérité, le pain de l'esprit, et l'Europe lui avait donné un scorpion ; il avait demandé le savoir, la science, et il ne recevait que des

erreurs et des sophismes qui allaient l'empoisonner pour longtemps.

Les Japonais, leurs études terminées, revinrent dans leur patrie, imbus de sophismes qu'ils considéraient comme les dernières conquêtes de l'esprit scientifique. Par suite de leur valeur personnelle et des hautes relations qu'ils possédaient dans le pays, ils ne tardèrent pas à jouer un rôle prépondérant dans toutes les affaires du nouveau Japon. Ils intervinrent dans la création des universités et des écoles supérieures; ce fut sur leurs conseils que le gouvernement fit appel à tel et tel grand professeur européen pour occuper les chaires qu'on venait de fonder. Beaucoup de ces jeunes gens se lancèrent dans le journalisme et répandirent par cet instrument si redoutable de la presse les doctrines néfastes qu'ils faisaient leurs.

Mais l'esprit réactionnaire de l'ancien Japon, d'une part, et la vanité nationale, d'autre part, ne tardèrent pas à déclarer la guerre à des idées avec lesquelles les anciennes doctrines avaient cependant plus d'un point de ressemblance. Les partisans de la vieille philosophie bouddhiste, les tenants du confucianisme entrèrent en lice contre la philosophie allemande et le positivisme français. Cette lutte, qui se continue encore aujourd'hui, nous n'avons pas à en raconter les péripéties. Qu'il nous suffise de dire que la pensée philosophique du Japon est actuellement en plein désarroi. D'une part, la science a démontré la puérilité de la plupart des enseignements de l'ancienne philosophie; d'autre part, si beaucoup des nouvelles théories ont trouvé un excellent accueil, il en est d'autres qui répugnent profondément à l'âme et au génie japonais. En outre, les Japonais européanisés, les Japonais positivistes n'ont pas, semble-t-il, suffisamment contrôlé les bases des doctrines qu'ils ont rapportées d'Europe; ils les ont acceptées telles qu'on les leur présentait ; et s'ils brillent aujourd'hui dans l'exposé de ces doctrines,

de leurs principes et de la méthode suivie, ils ne peuvent pas en démontrer à leurs compatriotes, avec la même foi et le même enthousiasme, les caractères d'absolue et d'exclusive vérité.

Essayons toutefois de caractériser l'état actuel de la pensée au Japon, en laissant de côté les théories surannées du shintoïsme et du bouddhisme. Nous nous occuperons spécialement des sphères universitaires, mais nous devons avertir le lecteur qu'il ne trouvera rien de bien original dans ce tableau. La philosophie actuelle du Japon est toute d'emprunt, et, l'Empire étant en contact constant et très étroit avec l'Europe par ses professeurs et ses traducteurs, il en résulte que nous trouverons dans cette philosophie les mêmes traits, à peu de choses près, qui caractérisent, en ce moment, la philosophie continentale.

En somme, on peut dire que, par ses principes, sa méthode et ses conclusions, la philosophie japonaise est positiviste. Le pays, du reste, avait été préparé à ce système funeste, faux, immoral, destructif de toute vraie philosophie par trois siècles de confucianisme. Peut-être aussi ne serait-il pas téméraire d'affirmer qu'il n'existe pas au monde une nation dont le caractère, les goûts et les aspirations soient, plus que ceux du Japon, en concordance avec le positivisme moderne.

Mais si l'état intellectuel du Japon favorisait l'introduction d'un système que le fondateur n'appelait philosophique qu'à regret, faute d'un mot plus adéquat, son état moral l'exigeait pour ainsi dire, car il excluait toute philosophie autre que celle-là, toute philosophie spiritualiste, la philosophie chrétienne surtout, avec ses notions d'âme éternelle, de responsabilité et de libre-arbitre. Nous l'avons dit plus haut : la morale japonaise n'est pas une morale ; elle ne rend compte d'aucun des éléments essentiels qui sont à la base de toute morale, elle ne parle ni d'obligation ni de sanction. Par certains côtés, elle pouvait

rappeler le système de Hume, basé sur un sentiment de sympathie, mais au fond son action se réduisait, comme ses principes et ses préceptes, à zéro.

La nation japonaise a toujours été très sensualiste et c'est ce qui la rend si réfractaire à l'introduction du christianisme. Nombreux sont les missionnaires qui nous ont dit que, si l'on pouvait supprimer du décalogue les sixième et neuvième commandements, la conversion des Japonais au catholicisme ne serait plus qu'une question de temps. Cette absence de moralité se reflète partout, dans la vie privée, dans la constitution de la famille, dans le mariage.

La constitution de la famille japonaise est basée sur trois principes : l'infériorité absolue de la mère, elle est nourrice, mais non éducatrice ; le père jouit d'un pouvoir absolu ; dans tous les cas, les enfants suivent le père.

Cette déconsidération, ce mépris de la femme s'explique par le fait que les doctrines de Confucius ont pénétré de très bonne heure dans le pays et ont été, à un moment donné, admises par la majorité des Japonais des classes élevées. Le philosophe chinois, on le sait, a toujours professé le plus profond mépris pour la femme. « La femme, dit-il quelque part, doit obéir à son père quand elle est jeune, à son époux quand elle est mariée, à ses enfants quand elle devient veuve », et, continuant ces préceptes, il ajoute : « La femme n'a pas d'âme ».

La polygamie existe-t-elle au Japon ?

En droit, il semble que non — du moins le Code civil de 1896 n'en dit rien — mais en fait, oui. D'après une coutume assez générale, le mari peut introduire sous son toit une ou plusieurs concubines qui portent le nom de *mékaké*. Un missionnaire des Missions étrangères de Paris, dirigeant depuis vingt ans une des plus grandes paroisses de Tokio, me disait que ce régime, qui n'est en réalité que la polygamie pure, florissait parmi ses ouailles ; les Japonais devenus chrétiens ne pouvaient s'empêcher

de conserver pendant les premières années qui suivaient leur conversion une ou deux de leurs anciennes mékakés.

Dans bien des cas même, chose qui semble impossible, c'est la femme légitime qui se met à la recherche d'une concubine pour son mari afin de s'attirer sa reconnaissance et de ne pas être chassée du logis. Cette institution est tellement enracinée et paraît si naturelle que l'Empereur actuel l'a en quelque sorte sanctionnée, en adoptant, comme héritier, le fils d'une des mékakés impériales, le prince Harunomya, qui depuis lors est considéré comme l'héritier présomptif de la couronne.

On croyait généralement que les nouveaux Codes allaient apporter des modifications importantes à cet état de choses, mais il n'en a rien été et, aujourd'hui comme il y a dix ans, la femme est restée la chose, la propriété du mari. Tout au plus, a-t-on introduit dans la législation quelques améliorations qui étaient absolument indispensables. C'est ainsi que, depuis la promulgation des nouveaux Codes, le mari ne peut plus, légalement, vendre sa femme pour en tirer profit, mais, d'autre part, le mari peut toujours se débarrasser à son gré de sa femme par le divorce, qui est accordé sur simple demande motivée : la loquacité excessive est un cas de divorce ! La loi, à côté de la coutume, a voulu sanctionner l'infériorité de la femme et elle stipule que toujours, quelle que soit la cause du divorce, fût-il prononcé contre le mari à la requête de la femme, les enfants restent sous l'autorité du chef de famille. On saisit de suite les effets désastreux pour la femme de cette disposition du Code : toutes les mères dévouées, aimantes préfèrent encore subir les insultes, les humiliations, les mauvais traitements de leur mari plutôt que de renoncer à tout jamais à leurs enfants.

La condition des enfants, au sein de la famille japonaise, achève de dérouter nos idées de morale chrétienne. D'après les lois en vigueur, le père n'a plus le

droit de vendre ses enfants, mais il peut les louer ! Une fille japonaise n'est, dans beaucoup de cas, aux yeux de son père, qu'une simple marchandise dont la valeur dépend de sa beauté. Cependant, il faut remarquer que le fait d'un père livrant sa fille n'a pas au Japon le caractère immoral qu'on lui attribuerait en Europe. Non, c'est là un état de choses tout à fait conforme à la morale japonaise et il n'est pas rare de voir, dans les contrats d'adoption, les parents légitimes stipuler, entre autres conditions, que leur enfant, lorsque c'est une fille, ne sera pas livrée à ce que nous — pauvres Occidentaux arriérés, comme disent les Japonais — appellerions un métier infâme.

Le *Yoshiwara* de Tokio rappelle un peu le bouge du proxénète romain. Il comprend le plus beau quartier de la ville et compte une population que nous n'avons pu évaluer. Il est peuplé de plusieurs milliers de jeunes filles de 12 à 25 ans, que leurs parents ont vouées à ce métier avec autant de désinvolture que s'il s'agissait de la profession la plus honorable. Et, chose incroyable, le fait d'avoir passé plusieurs années dans ces temples de Vénus n'entraîne aucune déchéance et n'inflige aucun déshonneur. La Vestale japonaise peut, son contrat de servitude terminé, rentrer dans sa famille et se marier tout aussi honorablement que si elle n'avait jamais quitté le toit paternel. Pour notre part, nous avons connu plusieurs de ces *mousmés* défraîchies qui dirigeaient et dirigent encore les salons des hommes politiques les plus importants de *Daï-Nippon*.

Dans ces conditions, le Japon pouvait-il trouver une philosophie mieux appropriée à son état intellectuel et moral que le positivisme contemporain ? Taine n'avait-il pas dit qu'on n'était bon philosophe qu'à la condition de laisser de côté toute préoccupation d'ordre moral, de négliger toutes les conséquences immorales ou antisociales des doctrines ? Comte, le père du système, n'avait-il pas lui-même, à son insu très probablement, vécu en bon

Japonais et approuvé par sa conduite la moralité de l'Empire du Soleil-Levant? N'avait-il pas poussé l'imitation des préceptes de la morale japonaise jusqu'à épouser, en la personne de Caroline Massin dont le nom figurait sur les registres de la police, une mousmé, une gueisha française des plus authentiques? Jamais le positivisme n'avait trouvé terrain mieux préparé pour le recevoir; aussi ne tarda-t-il pas à faire des progrès remarquables.

L'enseignement supérieur, les universités, la presse, tous les milieux intellectuels furent bientôt infectés de cette doctrine néfaste ruinant toute philosophie vraie, toute morale, toute science ne reposant pas sur la matière. Revenus de l'étranger, versés dans les connaissances des diverses langues européennes, les Japonais s'empressèrent de traduire les œuvres des grands positivistes ; tous les ouvrages de Comte y passèrent, puis ce fut le tour de Spencer et de Stuart Mill. Entretemps les anciens étudiants des universités allemandes enrichissaient le patrimoine intellectuel de leur patrie des traductions de Schopenhauer et de von Hartmann. Par elles-mêmes toutes ces traductions donnent déjà une idée de ce que doit être, hélas ! l'état intellectuel du Japon.

Il est un groupe cependant qui a donné naissance à une légère réaction contre le caractère trop absolu des théories empiriques. Nombre de Japonais ont fait leurs études dans les universités américaines, spécialement près des universités de Yales et de John Hopkins qui, bien que très fortement imprégnées des doctrines en cours dans toute l'Europe, sont loin d'avoir des tendances positivistes aussi accentuées que celles du vieux continent. L'Université de Baltimore notamment a fourni à l'Université de Tokio un de ses meilleurs professeurs, M. Motora, qui dirige avec une rare compétence le grand laboratoire de psycho-physiologie.

Parcourons rapidement les différents domaines de la philosophie, afin de nous rendre compte d'une façon aussi

exacte que possible des tendances qu'affecte la pensée japonaise. Les Japonais se sont contentés jusqu'ici de s'assimiler les théories des philosophes européens et ils n'ont pas encore eu le temps de produire une œuvre réellement originale. Par conséquent, la philosophie japonaise n'est qu'une synthèse des doctrines répandues en France, en Allemagne et aux États-Unis, et celui qui connaît les grands courants de ces trois centres intellectuels connaît la philosophie japonaise. La métaphysique est complètement méprisée et laissée de côté. Schopenhauer et von Hartmann ont eu, au principe, un certain succès près des philosophes bouddhistes qui trouvaient chez les deux Allemands un appui pour leur croyance. Comme l'auteur de la *Philosophie de l'Inconscient* et celui du *Fondement de la Morale* avaient tiré une philosophie des dogmes du bouddhisme, ils essayèrent de tirer un dogme religieux de Schopenhauer et de son très digne compatriote. Ce fut la cause principale du discrédit dans lequel tomba bientôt la métaphysique nébuleuse d'outre-Rhin.

L'esprit japonais, d'ailleurs, n'était pas encore assez mûr, ou bien il ne s'était pas suffisamment européanisé pour saisir tout ce qu'il y avait de profond dans la pensée des métaphysiciens allemands. On admettait assez facilement que l'univers fût une force intelligente ; mais qu'avec cela elle fût douée d'inconscience, cela leur paraissait difficile à admettre et on n'y crut plus du tout, quand on constata que cette fameuse intelligence inconsciente s'objectivait en des êtres divers, parmi lesquels quelques-uns étaient inconscients ! Les Japonais, du reste, n'éprouvaient aucune sympathie pour le suicide cosmique et cette métaphysique allemande, contradictoire dans ses termes, dont on a dit, à juste titre, qu'elle respirait une odeur de mort, fut complètement abandonnée. Actuellement, elle n'est inscrite au programme d'aucune des universités japonaises. A l'Université impériale de Tokio la Faculté des lettres comprend trente et un professeurs, tant indigènes

qu'étrangers. Sur ces trente et un professeurs, cinq traitent de questions philosophiques, quatre de questions touchant à la philosophie par quelques côtés et pas un seul de métaphysique.

En cosmologie, c'est le mécanisme qui domine avec toutes ses contradictions. Il n'y a dans le monde que du mouvement. Tous les phénomènes que présente l'univers ne sont, au fond, que des modes du mouvement. Les deux grandes lois de la mécanique sont supprimées d'emblée, et il n'est pas question de l'inertie de la matière, pas plus que de l'impossibilité pour un corps de se mettre lui-même en mouvement. Toutes les forces, soit chimiques, soit physiques que l'étude de la nature fait découvrir, ne sont en réalité que des forces mécaniques. Les causes finales, il va de soi, sont éliminées ; utiles, nécessaires peut-être dans un système de morale, elles n'ont que faire dans l'étude de la nature où il n'y a que des causes efficientes. Cet ensemble de sophismes a été réfuté depuis trop longtemps déjà pour que nous nous y arrêtions.

Des diverses branches de la philosophie, la psychologie est celle que les Japonais considèrent comme la plus importante. L'Université de Tokio seule compte deux professeurs de psychologie dont les cours ont lieu toute l'année à raison de trois heures par semaine.

Quels sont au juste les caractères de cette psychologie ? Il suffit de dire que c'est aux États-Unis que les Japonais vont chercher leurs théories anthropologiques. Le Japon possède actuellement deux psychologues de grand renom dans le pays, tous deux professeurs à l'Université de Tokio, MM. Motora et Rikizo Nakashima. Après avoir fait d'excellentes études dans les universités américaines, le premier, à la *John Hopkin's University*, le second à la *Yale's University*, ils sont revenus dans leur patrie, rapportant avec eux les théories idéalistes de leurs maîtres.

D'autres Japonais sont également revenus de l'Allemagne et de la France, imbus du même idéalisme positiviste.

Aujourd'hui, la psychologie japonaise présente les deux caractères de la psychologie européenne dont elle n'est, comme d'ailleurs nous venons de le voir, que l'extension. L'incognoscibilité de tout ce qui n'est pas idée ou fait de conscience, voilà le premier caractère. La seule source possible de l'idée est la sensation où il n'y a qu'un seul mode de connaître par les sens : voilà le second caractère.

Pendant son séjour dans les universités américaines, Motora avait suivi les cours de psycho-physiologie que Stanley Hall, un des anciens élèves de Wundt, venait d'ouvrir. A son retour, le gouvernement institua près de l'Université de Tokio une chaire de psycho-physiologie dont il confia la direction à Motora déjà nommé professeur de psychologie ordinaire. Les Japonais sont bien doués pour la psychologie expérimentale ; aussi les cours de psycho-physiologie ont-ils été mieux suivis. Le laboratoire très bien outillé, muni des instruments les plus perfectionnés et les plus délicats qu'on ait inventés jusqu'ici, a permis d'exécuter des travaux très nombreux, tous relatifs à l'attention, à la mémoire, à la sensibilité, au sens du temps, à la perception de l'espace, etc. Une bibliothèque est spécialement affectée aux étudiants qui suivent les cours en question. Elle comprend les derniers ouvrages de psychologie expérimentale parus et reçoit régulièrement, aussi bien d'Amérique que d'Europe, toutes les publications périodiques traitant de psycho-physiologie.

En morale, la prédominance appartient aux doctrines spencériennes. L'ouvrage, *Bases de la morale évolutionniste*, du sociologue et philosophe anglais a été traduit en japonais et accueilli par un franc succès. Aucun philosophe d'ailleurs, si ce n'est Comte, ne jouit au Japon d'une autorité qui puisse rivaliser avec celle de Spencer. Les Japonais ont trouvé en lui une intelligence ayant plus d'un point de ressemblance avec l'esprit national.

De fait, Spencer, dont personne ne songe à nier la grande valeur, se signala beaucoup plus par sa prodi-

gieuse puissance d'assimilation que par sa faculté d'invention. D'une érudition remarquable, il toucha à tous les domaines de la pensée, mais il ne fit jamais aucune découverte propre. La morale spencérienne était d'ailleurs dans une harmonie parfaite avec les goûts des Japonais.

Disons également un mot de l'état religieux du Japon. Aucune religion actuellement professée au Japon ne peut plus convenir au pays. Le bouddhisme et le shintoïsme renferment trop d'éléments que la pensée moderne ne peut accepter ; quant au christianisme, nous avons dit, plus haut, les obstacles presque insurmontables qui s'opposaient à son introduction. Les philosophes japonais se sont donc réunis et ont créé une religion qu'ils proposent à la croyance populaire. D'après l'un des auteurs de la nouvelle religion, M. Inouye, professeur à l'Université impériale, toutes les croyances auraient des traits semblables ; peu à peu les différences qui les séparent seront éliminées et il subsistera un élément, un principe commun à toutes, qui sera le fondement de la religion nouvelle que le Japon adoptera. « Ce principe n'est ni la conception personnelle de « l'Être » ni la conception panthéiste, c'est la conception éthique, le principe moral, ce principe est commun à toutes les religions, le shintoïsme lui-même a un principe éthique : le souci de la pureté du corps et de l'esprit. Le seul moyen de soutenir la conception personnelle de l'Être, c'est de dire : Dieu est en nous. Comment? Comme impératif catégorique. Cette idée est dans le bouddhisme : « Tathagata est en nous ». Sur ce point il n'y a pas de divergence entre le bouddhisme et le christianisme; les deux religions ont eu une histoire différente, des éléments différents s'y sont introduits, mais leur fondement est le même, c'est le principe moral (1). »

Tels sont donc, aussi brièvement résumés que possible, les caractères physiques, intellectuels et moraux du peuple

(1) Revue bleue, juillet 1900. *Le Japon d'aujourd'hui.*

japonais. Les Nippons constituent une race mixte où prédomine l'élément mongol. Au physique, ils présentent toutes les particularités des races mongoles. Au moral, ce sont de véritables Orientaux. Quant au point de vue intellectuel, le plus ardemment discuté, nous avons vu ce qu'il fallait en penser. L'intelligence japonaise, quoi qu'on dise, est réelle, très réelle, mais cette intelligence, nous l'avons dit, est plutôt pratique que théorique. Le Japonais n'invente pas, mais il posséde une faculté d'assimilation réellement prodigieuse.

Les théoriciens académiciens qui se sont occupés de la question se sont trompés du tout au tout sur la capacité intellectuelle du Japonais. Dire qu'un triomphe complet des Japonais, dans la grande lutte politique et économique qui se livre actuellement, ramènerait l'Europe à un nouveau moyen âge, est une assertion creuse, contraire à tous les faits. Il ne faut pas oublier que, si l'intelligence est une faculté, elle enfante mille manifestations diverses. Cette intelligence, nous en constatons l'existence chez les Japonais comme chez l'Européen ; mais outre les caractères génériques qui la constituent, nous la voyons spécifiée par des caractères propres, particuliers. Quels que soient ces caractères propres, jamais ils ne doivent nous faire perdre de vue les caractères génériques.

Au point de vue moral, les Japonais rappellent un peu les Romains. Mais il ne faut pas oublier que le Japon se trouve parmi les peuples non encore éclairés par le flambeau de la Foi, toujours assis dans les ténèbres et à l'ombre de la mort. Quoi d'étonnant, alors, qu'il nous offre une image du spectacle qu'offrait le monde civilisé aux temps qui se trouvent de l'autre côté de la Croix !

Du reste, si l'Empire du Soleil présente des obstacles très considérables à l'introduction du christianisme, celui-ci n'en a pas moins fait des progrès très considérables. Le Japon compte aujourd'hui plus de 120 000 chrétiens. Plus de trente députés sont catholiques ; un chrétien

détenait, il y a quelques années, un portefeuille au sein du Cabinet ; nous comptons des représentants de nos croyances dans l'armée, dans la marine, dans l'enseignement supérieur et même — mais ici un devoir impérieux nous oblige à la plus rigoureuse discrétion — dans la famille impériale. La lumière donc se fait graduellement.

Bien loin, par conséquent, de partager les appréhensions des détracteurs du peuple japonais, nous croyons, tout au contraire, qu'un contact plus intime des deux races, la participation de la race jaune à la civilisation élargira le monde et fera en sorte que le globe presque tout entier jouisse des bienfaits intellectuels, moraux et artistiques qui jusqu'ici avaient été l'apanage exclusif de la race blanche. Jadis nous avons eu le monde grec auquel a succédé le monde romain, celui-ci à son tour a fait place au monde moderne. Pourquoi donc n'aurions-nous pas finalement le monde de l'humanité ? « Est-il défendu, est-il irrationnel d'espérer que l'avenir verra l'humanité se compléter, grandir graduellement, et les civilisations de l'avenir, sans faire oublier celles du présent, les dépasser dans quelque direction encore inconnue, comme les nôtres ont dépassé leurs devancières (1) ? »

TH. GOLLIER.

(1) De Quatrefages, *L'Espèce humaine*, p. 212.

LE TUNNEL DU SIMPLON [1]

Le grand public n'ignore pas l'œuvre gigantesque qui s'achève en ce moment : le percement du tunnel du Simplon. Récemment encore, les journaux la lui ont rappelée, à propos des dernières difficultés rencontrées : des sources d'eau chaude ont fait irruption, aux mois de mai et septembre ; les travaux d'avancement ont été arrêtés, jusqu'à la fin d'octobre, alors qu'il ne restait plus que 244 mètres à percer. Pour tourner l'obstacle, il a fallu pratiquer une galerie transversale. La perforation dans l'axe du tunnel a été reprise 23 mètres au delà de la grande source d'eau chaude. Depuis lors, la marche en avant est redevenue régulière et, le 4 janvier 1905, la

(1) **Bibliographie.** — H. Schardt, *Note sur le profil géologique et la tectonique du massif du Simplon comparés aux travaux antérieurs*, ECLOGÆ GEOLOGICÆ HELVETIÆ, vol. VIII, n° 2, oct. 1903. — A. Heim, *Ueber die geologische Voraussicht beim Simplon-Tunnel*, ECLOGÆ GEOLOGICÆ HELVETIÆ, vol. VIII, n° 4, nov. 1904. — M. Lugeon, *Les venues d'eau rencontrées dans le tunnel du Simplon du côté d'Iselle*, BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE. Lausanne, déc. 1902. — S. Pestalozzi, *Die Bauarbeiten am Simplon-Tunnel*, SWEIZERISCHE BAUZEITUNG, Zurich, 1904. — *Extraits des rapports trimestriels sur l'état des travaux du Simplon*, BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE. Lausanne. — P. de Blonnay, *Le Tunnel du Simplon*, BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE. Lausanne, septembre 1904. — M. Goegg, *Les grands travaux de perforation dans les Alpes*, SOCIÉTÉ NORMANDE DE GÉOGRAPHIE. Rouen, 1904. — Ed. Sulzer-Siegler, *Die Bau des Simplon-Tunnels*, MITTHEILUNGEN DER NATURWISSENSCHAFTLICHEN GESELLSCHAFT IN WINTERTHUR, 1904. — A. Dumas, GÉNIE CIVIL.

distance des fronts d'attaque n'était plus que de 170 mètres. Tout permet d'espérer l'achèvement pour le mois de février.

Les journaux se sont même intéressés aux polémiques scientifiques dont cette entreprise a fourni l'occasion : ils ont rapporté le discours de M. Ed. Sulzer-Siegler, prononcé au commencement de cette année, lors de la fondation de la *Société de Sciences naturelles* à Saint-Gall, en Suisse. Dans ce discours, l'orateur manie la férule et tance d'importance messieurs les géologues qui se sont permis de dresser, avant les travaux, un profil des terrains traversés que les faits, au cours du percement, n'ont pas ratifié dans ses détails.

Plus souvent encore, dans des articles s'adressant aux ingénieurs, les revues techniques ont entretenu leurs lecteurs du tunnel du Simplon, mais en se plaçant au point de vue purement descriptif. Nous utiliserons ces documents ; mais nous avons pensé qu'une visite des travaux les compléterait utilement et donnerait plus de valeur à leur mise en œuvre. De fait, les renseignements nombreux et précis que nous avons recueillis au cours de cette visite nous mettent à même, croyons-nous, de présenter, sur cet intéressant sujet, une étude plus complète et mieux au point.

Nous tenons ici à rendre hommage à l'obligeance de MM. les ingénieurs Rolla et Rossi, respectivement chef et sous-chef de section, et, tout spécialement, à M. A. Zollinger, ingénieur en chef du Simplon, pour leur précieux concours dans la visite des chantiers sud, à Iselle (Italie), que nous avons faite en leur compagnie, au mois d'octobre dernier. Nous remercions aussi M. Isaak, ingénieur, chef de section, et M. Gschlacht, ingénieur du Simplon, pour les services qu'ils nous ont rendus dans notre visite des chantiers nord, à Brigue (Suisse). Les renseignements fournis par M. le professeur H. Schardt, membre de la Commission géologique du Simplon, nous ont également

beaucoup aidé pour le développement de la partie scientifique de notre travail. Nous le remercions bien sincèrement de son amabilité.

Notre travail comprendra trois parties. La première sera un coup d'œil général et comparatif sur les percements du Mont Cenis, du Saint-Gothard, de l'Arlberg et du Simplon. Nous consacrerons la seconde à l'étude du profil géologique, de la thermique du sol et de l'hydrologie souterraine du massif du Simplon. La troisième contiendra l'étude technique des travaux. Ce sera la plus importante. Nous la subdiviserons en trois sections, où nous étudierons les installations hydrauliques et mécaniques aux entrées du tunnel, et le transport de force; les travaux intérieurs : mode de construction, perforation, réfrigération, évacuation des eaux ; la traction, pour le transport des déblais et des matériaux, et l'avancement des travaux.

Enfin nous indiquerons brièvement, nous réservant d'y revenir dans une étude spéciale, les modifications qui nous semblent de nature à réaliser un progrès dans la construction des grands tunnels.

I

Coup d'œil général et comparatif sur les percements du Mont Cenis, du Saint-Gothard de l'Arlberg et du Simplon

Le massif des Alpes forme une barrière naturelle entre l'Italie et l'Europe centrale. Au début de la seconde guerre punique, Annibal la fit franchir à son immense armée, mais sans le souci de laisser derrière lui la route définitivement ouverte, ni même simplement plus aisée à qui eût voulu renouveler cet exploit.

A l'époque napoléonienne la route du Simplon fut jugée nécessaire aux opérations militaires ; elle devint dès lors la voie préférée pour la traversée des Alpes. Napoléon Ier y établit la première route carrossable, longue de 66 kilomètres, de Brigue, en Suisse, à Domo d'Ossola, en Italie ; son point culminant est à 2000 mètres d'altitude, celle de ses extrémités ne dépassant pas 700 mètres. C'est aussi à Napoléon Ier que l'on doit la route du Mont Cenis.

Cinquante ans à peine après leur construction, le trafic international prenait une telle importance qu'il fallut lui ouvrir des débouchés plus aisés et plus rapides. C'est alors qu'on décida le percement de voies souterraines. Le tableau suivant donne quelques éléments de comparaison entre le tunnel du Simplon et les grands tunnels qui traversent les Alpes, ceux du Mont Cenis, du Saint-Gothard et de l'Arlberg.

	Mt CENIS	St-GOTHARD	ARLBERG	SIMPLON
Longueur du tunnel, en mètres	12 849	14 984	10 240	19 731
Durée du percement, en années .	14	9	5,5	6,5
Température intérieure, en degrés centigrades	29,5	30,8	18,5	45
Hauteur maximum du terrain au-dessus du tunnel, en mètres	1654	1706	720	2155
Altitude maximum du tunnel, en mètres	1295	1155	1510	705
Altitude du massif montagneux suivant l'axe du tunnel, en mètres	2949	2861	2050	2840
Altitude de l'entrée N. ou E., en mètres	1148	1109	1302	687
Altitude de l'entrée S. ou W., en mètres	1269	1145	1218	654
Rampe maximum 0/00	22	5,82	15	7

Voici d'autres éléments de comparaison qui complètent ce tableau.

Le premier percement des Alpes, celui du Mont Cenis, est dû à un ingénieur français, M. Sommeiller. Le travail fut entrepris en 1857. On y employa la perforation mécanique à air comprimé. A cette époque on faisait de 90 à 100 trous de mine sur le front d'attaque ; ces trous avaient

$0^m,04$ de diamètre et $0^m,80$ de profondeur, et on les chargeait à la poudre. Un trou central de $0^m,90$ de diamètre facilitait l'explosion de l'ensemble. Actuellement on fait tout au plus une dizaine de trous de mine de dimensions à peu près doubles, et on les charge à la dynamite contenant 92 % de nitroglycérine.

Pour le percement, on eut recours à la méthode avec avancement à la base. Il n'y eut au Mont Cenis aucune venue d'eau importante, et la température interne fut peu élevée, grâce à la bonne ventilation que facilitait l'air provenant des perforatrices.

Le tunnel du Mont Cenis fut inauguré en 1871. L'œuvre était admirable, mais elle ne devait pas tarder à être dépassée par le tunnel du Saint-Gothard.

La ligne du Gothard, décrétée de commun accord entre l'Italie, la Suisse et l'Allemagne, et commencée en 1872, mit aux mains de l'Allemagne une arme économique redoutable, que l'on chercha plus tard à émousser.

Un trait caractéristique de la ligne du Gothard est l'unité nationale de son parcours : elle reste constamment sur le territoire de la Confédération suisse, de l'extrémité de la plaine de Lombardie, à Chiasso, jusqu'au lac des Quatre-Cantons, à Lucerne.

Au point de vue technique, l'œuvre est grandiose et hardie ; les lignes d'accès au tunnel suivent la vallée de la Reuss, sur le versant rhénan jusqu'à Goeschenen, et la vallée du Tessin jusqu'à Airolo, sur le versant italien. L'altitude du tunnel, comme le montre le tableau précédent, est telle qu'on dut allonger artificiellement la ligne à partir du point où elle quitte la plaine, afin de ne pas dépasser la rampe maximum de 26 ‰. C'est pour atteindre ce but que l'on a intercalé, sur les deux versants, des boucles ou tunnels dits « hélicoïdaux ».

La construction du tunnel du Saint-Gothard présenta des difficultés plus grandes que celle du Mont Cenis, à cause de l'absence de voies d'accès pendant sa construc-

tion et de la nature des terrains traversés. Les roches se composaient de granit du côté nord et de gneiss du côté sud.

Sous la vallée d'Audermatt, les revêtements en maçonnerie, malgré leur épaisseur extraordinaire, cédèrent plusieurs fois à la pression de la montagne. Les venues d'eau furent considérables : elles dépassèrent en moyenne 230 litres à la seconde, contre 1 litre seulement au Mont Cenis. La dynamite remplaça définitivement la poudre, et l'abatage se fit à l'aide des perforatrices Ferroux à air comprimé (1).

Pour le percement, on utilisa le procédé d'attaque par galerie en calotte, appelée aussi méthode belge (2).

Dès que le percement du Gothard fut achevé, l'Autriche voulant rendre ses relations avec la Suisse et la France indépendantes des chemins de fer allemands, décida de relier la vallée de l'Inn à celle du Rhin, à travers les Alpes du Tyrol. Elle fit donc construire 135 kilomètres de voies ferrées nouvelles, et effectuer une percée de 10 kilomètres à travers l'Arlberg. Le travail fut commencé en 1880. Les terrains traversés par ce nouveau tunnel furent beaucoup moins durs qu'au Saint-Gothard. Dans les chantiers ouest on utilisa la perforatrice Brandt, et dans les chantiers est, la perforatrice Ferroux (3).

Quant au mode de percement, on appliqua une méthode mixte (4) appelée aussi méthode par galerie de pied ou méthode anglaise (5).

L'idée de percer le Simplon remonte à une cinquantaine d'années. Plusieurs projets prévoyant des tunnels établis à des altitudes assez élevées furent successivement rejetés.

(1) Haton de la Goupillière, *Cours d'exploitation des mines*, tome I. Paris, 1896.

(2) *Ibid.*

(3) A. Habets, *Cours d'exploitation des mines*, tome I. Liége, 1902.

(4) Bridel, *Examen critique des systèmes d'exécution appliqués à la construction rapide des grands tunnels*. Lucerne, 1883.

(5) A. Habets, *Cours d'exploitation des mines*, tome I. Liége, 1902.

Ce n'est qu'en 1898 que les gouvernements italien et suisse concédèrent la ligne à la Compagnie du Jura-Simplon.

L'entreprise du creusement du tunnel fut confiée, pour le prix de soixante-neuf millions et demi, à un groupe

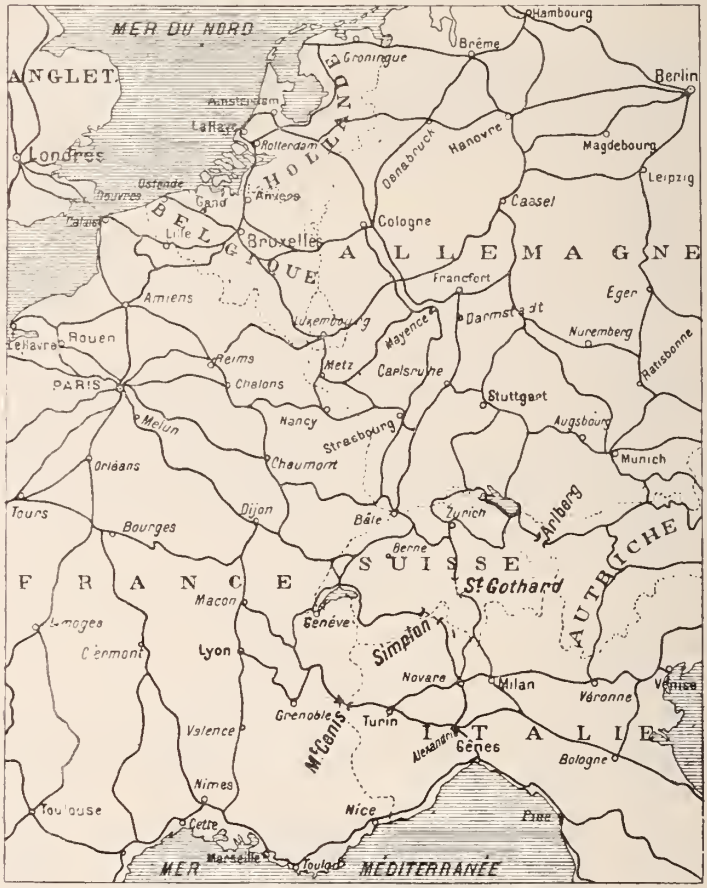


Fig. 1. Carte des lignes de chemins de fer intéressant le Simplon.

composé des maisons A. Brandt et Brandau de Hambourg, Sulzer frères de Winterthur, Löcher et Cie de Zurich, et la banque de Winterthur.

Aux termes de la convention, les travaux devaient commencer le 13 novembre 1898 ; le tunnel et la galerie de

base du grand tunnel devaient être livrés à l'exploitation le 15 mars 1904 ; on stipulait une prime ou une pénalité de 5000 francs, par jour d'avance ou de retard sur la date fixée pour l'achèvement des travaux. Un cautionnement de cinq millions garantit la bonne exécution de l'entreprise pendant trois années après sa mise en œuvre.

Diverses subventions furent accordées à la Compagnie du Jura-Simplon : la Fédération suisse intervint pour quatre millions ; les cantons suisses du Valais, du Vaud, de Genève et de Berne et la province italienne de Novare accordèrent dix millions.

Au point de vue économique, le Simplon enlève au Mont Cenis et au Saint-Gothard une partie de leur trafic. Un coup d'œil jeté sur la carte ci-jointe de l'Europe centrale permet de déterminer les secteurs de chacun de ces tunnels (fig. 1).

On projette la construction de nouvelles lignes ferrées à la frontière franco-suisse pour raccourcir le trajet de Paris à Milan par le Simplon.

Lorsque ces nouvelles voies seront établies, le Simplon desservira avantageusement le nord et le centre de la France et même l'Angleterre, en transit par Paris. Peut-être le Simplon détournera-t-il, par la France et au détriment de notre pays, le trafic d'Angleterre en Italie, qui se fait actuellement par la Belgique, l'Allemagne et le Saint-Gothard (1).

Le tracé de la nouvelle voie se raccorde, à Brigue, avec le chemin de fer du Valais, longe la rive gauche du Rhône et atteint la tête nord du tunnel à 2,5 kilomètres à l'est de Brigue (fig. 2). La ligne traverse le massif du Simplon en tunnel sur une longueur de 19 731 mètres, débouche sur le versant italien près d'Iselle, et se raccorde au réseau italien de la Méditerranée à Domo d'Ossola.

(1) Louis Lafitte, *Simplon et Faucille, rôle économique d'une nouvelle ligne internationale*, LE GÉNIE CIVIL, août et septembre 1905.

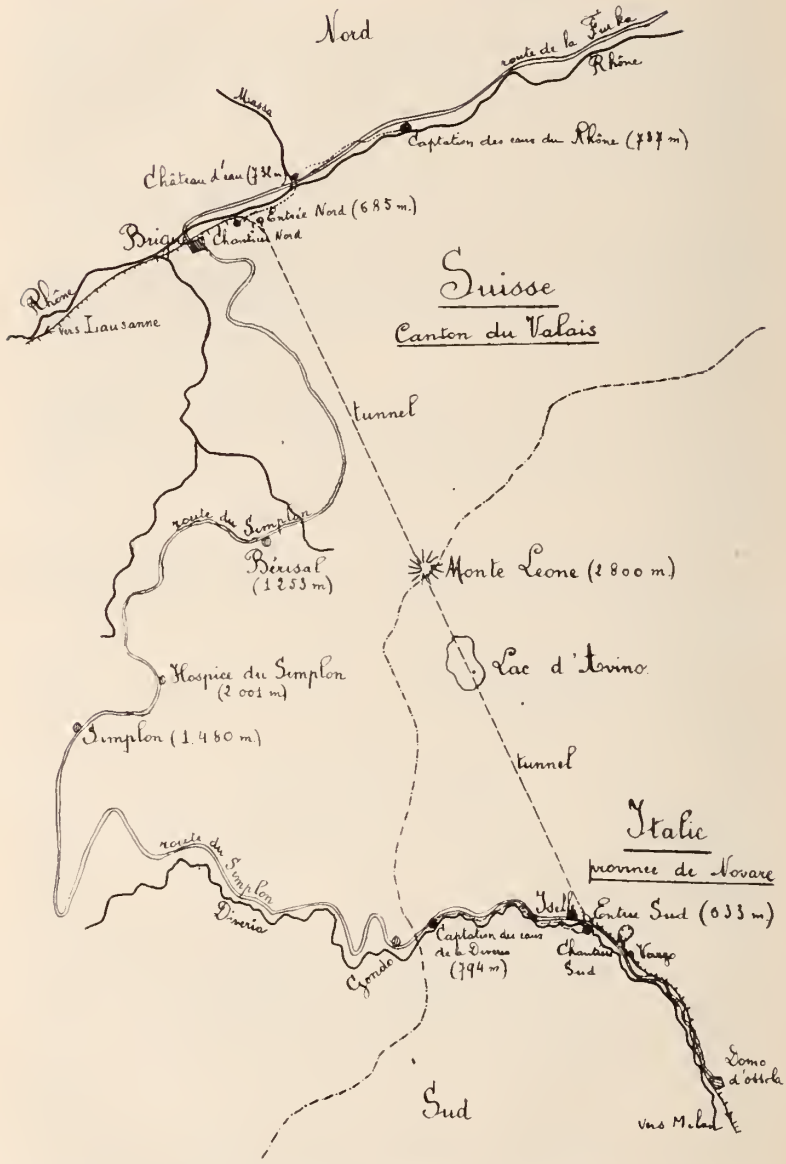


Fig. 2. Carte de la région du Simplon.

Tracé du tunnel - - - ; Emplacement des chantiers N. et S. ; Points de captation des eaux du Rhône et de la Diveria ; Conduite hydraulique .....; Frontière —·—·— ; Chemins de fer ; Échelle : $\frac{1}{200\,000}$.

La ligne s'engage dans le tunnel, au nord, à 685 m. d'altitude ; elle monte en rampe de 2 °/₀₀, ce qui ménage l'écoulement des eaux, jusqu'à 704^{m},20 d'altitude. Là elle se développe en palier sur un parcours de 500 mètres où se trouve établie une gare d'évitement ; enfin, elle descend en pente de 7 °/₀₀ vers la sortie sud, qui est à 633 m. d'altitude. La différence de niveau entre les extrémités du tunnel est donc de 52 mètres.

Les cotes des deux points terminus ont été choisies de façon que l'on fût, au nord, toujours au niveau des plus hautes eaux du Rhône et, au sud, où le tunnel débouche dans la gorge du Gondo, en un point où les installations fussent d'un établissement relativement facile. Le tracé est en ligne droite, sauf aux abords du tunnel, pour permettre le raccordement avec les lignes à ciel ouvert.

Afin de faciliter la ventilation et même l'écoulement des eaux, au lieu d'un tunnel à double voie, tel que ceux du Mont Cenis, du Saint-Gothard et de l'Arlberg, on a construit ici deux tunnels parallèles à simple voie, dont les axes sont distants de 17 mètres et qui sont reliés tous les 200 mètres par des traverses obliques. L'exploitation ne commencera qu'avec un de ces deux tunnels, celui que nous appelons *galerie principale*. Lorsque le trafic brut aura atteint 40 000 francs par kilomètre, le second tunnel, qui sert actuellement à la ventilation et à l'écoulement des eaux, sera élargi au profit définitif et mis en œuvre ; nous l'appelons *galerie parallèle*.

La section de la galerie principale a 5 m. de largeur sur 5^{m},50 de hauteur ; celle de la galerie parallèle, 3 m. de largeur sur 2 m. de hauteur.

Ce dédoublement du tunnel présente de sérieux avantages : il permet la circulation d'un courant d'air peu résistant, à cause des grandes dimensions de la galerie d'amenée, et par suite une ventilation abondante et aisée ; en outre, il assure l'évacuation des venues d'eau éventuelles par une voie spéciale.

Un grand avantage du tunnel du Simplon, c'est d'être un tunnel de plaine. Son altitude maximum est inférieure de 450 m. à celle du Saint-Gothard ; dès lors la déclivité relativement faible des voies d'accès, dans les vallées du Rhône et de la Toce, permettra la circulation des trains à grande vitesse.

Toute entreprise facilitant les relations internationales suscite des rivalités qui en provoquent de nouvelles. Le Simplon n'est pas encore percé que déjà l'on projette sérieusement la construction d'une nouvelle ligne reliant la Suisse orientale et l'Italie à travers la région comprise entre le Saint-Gothard et le Brenner distants de 220 kilomètres. M. R. Bernhardt, en un travail très documenté (1), préconise dans ce but la ligne du Splügen, de Coire à Chiavenna et Milan.

Un premier projet comporte un tunnel de 18 kilomètres à une altitude de 1155 mètres. Le profil de la nouvelle ligne serait analogue à celui du Saint-Gothard. Le devis est estimé à 125 millions.

Un autre projet consiste dans un tunnel de base à une altitude peu considérable, 732 mètres, se rapprochant de celle du Simplon. Ce tunnel aurait 40 kilomètres de longueur de Sils, près de Thusis, jusqu'à la vallée de la Mera ; sa construction coûterait 200 millions. Mais quelles difficultés n'aurait-on pas à redouter de la haute température des roches et des sources d'eau chaude, étant donnée l'expérience acquise au Simplon ?

On a aussi proposé une variante plaçant le tunnel entre Andeer et Callivagio, ce qui réduirait sa longueur à 26 kilomètres, sans notable accentuation de rampes. Ce dernier tracé est un moyen terme entre les deux précédents et diminuerait les difficultés et la dépense.

En dehors de la ligne du Splügen, on poursuit active-

(1) *Die schweizerische Ostalpenbahn, in historischer, technischer, kommerzieller und volkswirtschaftlicher Beleuchtung*, von Rob. Bernhardt. — Zurich, Édit. Institut Orell-Füssli, 1903.

ment les études pour l'établissement de la nouvelle ligne internationale, soit par le Luckmanier, soit sous le col de la Greina.

II

Étude du profil géologique, de la thermique du sol et de l'hydrologie souterraine du massif du Simplon

La géologie fait des progrès continuels. Comme toute science naturelle, elle part des faits observés pour s'élever par le raisonnement à la connaissance de ceux qui échappent à l'observation directe. Les données de l'expérience s'accumulent peu à peu, rendant plus aisée et plus sûre l'interprétation des phénomènes cachés, plus rares et moins graves les erreurs toujours possibles en un domaine où toutes les forces de la nature concourent à déjouer les prévisions.

Il est intéressant de rappeler brièvement les diverses manières dont on a compris la géologie du massif du Simplon et interprété le plissement enchevêtré de ses assises.

Les roches de ce massif peuvent être partagées en quatre groupes que nous mentionnerons par ordre de superposition, en allant de la plus ancienne à la plus récente. Ce sont : le *gneiss d'Antigorio*, roche massive contenant, par endroits, des schistes et des filons d'aplite ; le *gneiss du Monte Leone*, gneiss lité avec des mica-schistes plus ou moins grenatifères, des schistes amphiboliques, etc. ; les *roches triasiques* comprenant des quartzites, du gypse (anhydrite, en profondeur), des schistes argileux tendres micassés, des calcaires dolomitiques ; enfin des *schistes lustrés*, roche schisteuse plus ou moins calcaire, avec de fréquents nodules de quartz. Voyons comment les relations réciproques de ces quatre éléments ont été envisagées.

C'est Bernard Studer, l'un des pères de la géologie suisse, qui, le premier, donna une coupe géologique de la région (fig. 3). Elle passe très près de l'axe du

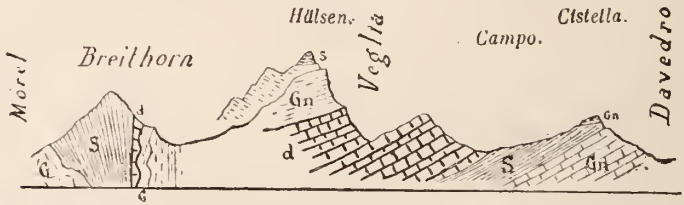


Fig. 3. Profil du massif du Simplon, d'après B. Studer (1851) passant à 5 km environ au N.-E. de l'axe du tunnel.
S. Schistes gris (sch. lustrés); G. Gypse; *d.* Dolomite et marbres; Gn. Gneiss.

tunnel et permet, par la comparaison avec d'autres coupes postérieures, de constater les progrès accomplis par la géologie. Remarquons que Studer s'est aperçu que le gneiss pouvait reposer sur des schistes gris calcaires. S'il n'a pas tiré de cette idée les conclusions importantes qui en découlaient, c'est que, de son temps, la théorie des grands plis couchés n'était pas née.

En 1869, Gerlach, l'un des géologues les plus distingués

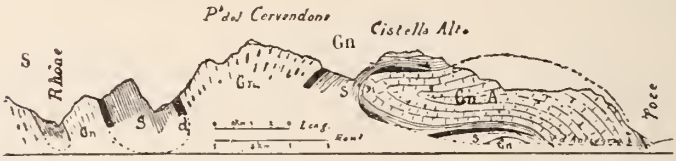


Fig. 4. Coupe à l'est du massif du Simplon, par Gerlach (1869). Réduction, 1 : 100 000.
S. Schistes métamorphiques; *d.* Roches triasiques; Gn. Gneiss; Gn. A. Gneiss d'Antigorio.

de la Suisse, publiait le résultat de ses observations. Il distingue le gneiss d'Antigorio de celui du Monte Leone, et arrive à la conception d'un énorme pli couché dont le noyau serait formé de gneiss d'Antigorio (fig. 4).

La manière de voir du célèbre ingénieur n'eut pas le succès qu'elle méritait. Gerlach ne fut pas de son temps,

il le précéda ; quand vinrent les expertises officielles, ses vues ne furent pas suivies.

C'est en 1877 que MM. les professeurs Renevier, Heim et Lory furent chargés d'une exploration préliminaire du massif que devait traverser le tunnel projeté. Dans un intéressant mémoire, le premier de ces géologues rappelle la théorie de Gerlach et se demande, avec raison, si les bancs calcaires qui paraissent intercalés régulièrement dans les gneiss du Monte Leone ne représentent pas la même couche repliée trois fois sur elle-même. Sans trancher la question et malgré l'opinion de ses collègues, il penche nettement vers cette manière de voir. En 1882, à la suite d'une nouvelle expertise faite par les mêmes

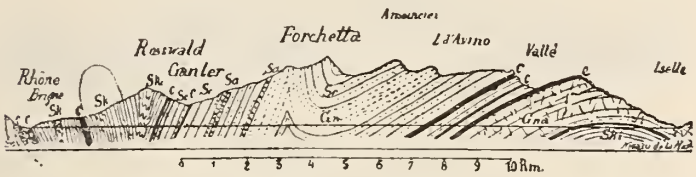


Fig. 5. Profil géologique du massif du Simplon dans l'axe des projets de 1890 et 1893.
Sk. Schistes lustrés ; C. Calcaire dolomite, gypse, etc. Trias ; Sc. Schistes cristallins ; Sa. Schistes amphiboliques ; Gn. Gneiss ; Gna. Gneiss d'Antigorio.

géologues, auxquels fut adjoint le professeur Taramelli de Pavie, le massif du Simplon est encore considéré comme un dôme régulier. Toutefois la succession des couches y est serrée de plus près.

En 1890, M. le professeur H. Schardt est chargé d'une troisième expertise. Le résultat de ces études fut d'abord l'existence d'un indice de plissement relevé dans l'arête du Wasenhorn. En outre, dans la vallée de Caïrasca, un affleurement de gypse, que les auteurs précédents considéraient comme du gneiss décomposé, prend ici une signification nouvelle. Ce n'est pas, aux yeux de M. Schardt, un produit de décomposition mais un dépôt originel (fig. 5).

C'est ce profil, agrandi d'après une copie défectueuse, non revue par l'auteur, qui fut joint à la demande de concession accordée, en 1898, avant la mise à exécution des travaux.

En 1893, M. H. Schardt reprend l'hypothèse de Gerlach sur le grand pli couché de gneiss d'Antigorio et, en 1894, il publie avec M. le professeur Golliez (1) une nouvelle coupe du massif du Simplon (fig. 6).

Le progrès réalisé dans ces deux coupes, très semblables, est considérable. On sent que la solution du

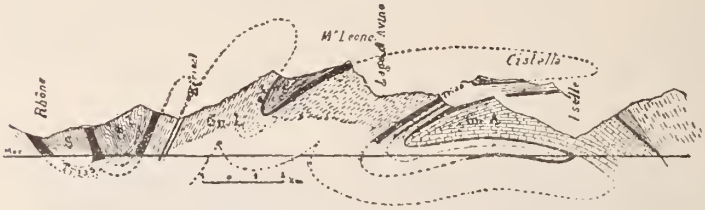


Fig. 6. Coupe à travers le massif du Simplon, d'après H. Schardt (1894). Réduction 1, : 100 000.
S. Schistes lustrés; Gn. Gneiss du Monte-Leone; Gn. A. Gneiss d'Antigorio.

problème est serrée de près. Les deux auteurs voient des plis entrelacés, quelques-uns dirigés vers le sud, faisant face au grand pli couché du gneiss d'Antigorio, dirigé vers le nord, et se déversant sur lui.

Vient ensuite, en 1901-1902, le profil de M. C. Schmidt qui interprète l'hypothèse du renversement. En 1902, M. M. Lugeon applique également aux gneiss du Simplon le principe des plis couchés, et construit un profil sommaire. MM. C. Schmidt et M. Lugeon ont utilisé en partie les renseignements géologiques contenus dans les rapports présentés au Conseil fédéral suisse.

A l'apparition de ces profils M. H. Schardt publia de son côté un troisième profil (fig. 7), basé sur une étude faite

(1) MM. Schardt et Golliez, *Profil du Simplon*, LIVRET-GUIDE GÉOLOGIQUE DE LA SUISSE. Lausanne, 1894.

dans le tunnel dont les travaux se poursuivaient. Ce profil ne dit probablement pas le dernier mot sur cette question complexe.

On voit, par cette revue rapide des opinions émises par les géologues qui se sont occupés du Simplon, combien les secrets que la montagne recèle dans ses flancs ont provoqué de conceptions différentes. Maintenant qu'on y a introduit l'observation directe, nous ne tarderons pas à voir paraître une monographie du tunnel du Simplon, qui apportera plus de lumière à la solution du problème parce qu'elle appuyera les démonstrations sur des études

Fig. 7. Profil du massif de Simplon, par H. Schardt (avril 1902 à juillet 1903). Sk. Schistes lustrés; C. Trias; Sc. Schistes cristallins, amphibolites, etc. Gn. Gneiss; Gna. Gneiss d'Antigorio.

pétrographiques et des analyses chimiques des roches et sur des profils plus détaillés ; une carte géologique au ving-cinq millième accompagnera ce travail.

Les révélations tectoniques du massif du Simplon pourront s'appliquer aussi à d'autres parties des Alpes et notamment aux zones annexes, les Alpes tessinoises et grisonnes d'une part, et les Alpes valaisannes, entre le Simplon et le Combin, d'autre part.

Abordons maintenant la thermique du sol et l'hydrologie souterraine.

L'épaisseur verticale des roches, qui surplombent le tunnel, rendait probables, à première vue, des phénomènes thermiques plus importants ici que dans les percements antérieurs. On sait, en effet, que ces actions thermiques dépendent, entre autres choses, de la distance

à la surface du sol et vont en croissant avec elle. Ainsi l'expérience a montré que la température augmente d'un degré centigrade quand on s'enfonce d'une trentaine de mètres. Mais si ces données sont approximativement exactes en pays de plaine, elles cessent d'être applicables en pays de montagnes à cause du refroidissement que subit le sol au contact des glaciers. Pour cette raison, les entrepreneurs du Simplon crurent pouvoir compter sur un degré géothermique non de trente mais de soixante mètres. Dans cette hypothèse, il fallait prévoir une température maximum de 42°. Mais il faut tenir compte, ici surtout, de la circulation des eaux dans les fissures des roches. Il n'est pas douteux qu'elle puisse exercer une influence considérable sur la température à l'intérieur du sol, puisque ces eaux voyageuses arrivent dans les couches profondes à une température qui dépend, en grande partie, de celle de la nappe dont elles proviennent. De fait, la température prévue de 42° a été dépassée : l'expérience a donné jusque 53°, grâce à la présence de sources d'eau chaude.

Si l'on consulte le tableau des sources rencontrées au cours du percement du tunnel, on constate que des venues d'eau très voisines possédaient des températures notablement différentes. Cette observation a conduit M. H. Schardt à émettre une hypothèse intéressante sur la circulation souterraine et particulièrement sur la cause qui la produit. Il y voit un phénomène comparable à celui que réalise le thermosyphon. L'eau froide, pénétrant dans l'intérieur du sol, s'échauffe peu à peu et devient moins dense. Elle tend alors à remonter, mais elle est remplacée par une quantité égale d'eau froide. Une circulation complexe s'établit, où les variations de température mêlent leurs effets à ceux de la pesanteur.

Mais s'il y a circulation — et celle-ci n'est pas douteuse, quelle qu'en soit la cause — il y a corrosion, dissolution de la roche. Ainsi, petit à petit, se creusent ces

canaux, ces réservoirs nés d'une fissure jadis capillaire et où coulent et s'accumulent les eaux de la surface. Les observations faites jusqu'ici dans le tunnel semblent confirmer cette manière de voir.

Quoi qu'il en soit d'ailleurs, la circulation de l'eau joue certainement un rôle incontestable et important dans la température des roches.

Le tableau de la page 206 (fig. 8) donne la variation des températures de la roche et de l'air à l'avancement. On a observé un abaissement de la température de la roche à partir du kilomètre 2,2 de l'entrée sud. A partir du kilomètre 4, où les sources d'eau froide ont fait irruption, cet abaissement a été relativement rapide : au kilomètre 4,4 le thermomètre n'a plus marqué que 16°,2 au lieu de 36° à 38° qu'on était en droit d'attendre. C'est donc une variation de 15° à 20° au moins, produite exclusivement par les eaux froides de circulation. Ce phénomène, il est vrai, peut n'être que passager : lorsque la vidange des réservoirs sera faite en grande partie, la température remontera peu à peu ; toutefois jamais elle n'atteindra ce qu'elle serait sans cette circulation qui continuera à amener dans les couches profondes les eaux superficielles.

En 1904 la température de la roche, mesurée sur la paroi latérale le plus près possible du front d'attaque, a présenté, du côté nord, d'assez grandes variations. Elle s'est élevée à 48°,6 au kilomètre 9, pour descendre à 40°,1 au kilomètre 9,8, et remonter à 45°,3 au kilomètre 10,2, tandis que dans les trous de mine elle atteignait 53°,6 au kilomètre 8,404, pour descendre à 46° au kilomètre 10,164. Du côté sud, le maximum atteint a été de 39°,5 au kilomètre 8,4, et dans les trous de mine de 39°,3 au kilomètre 7,2.

Les venues d'eau froide se sont produites au kilomètre 4 du côté sud, en 1902, dans une partie du tunnel que l'on a appelée *zone aquifère*. Le débit maximum de ces sources est de 1200 litres par seconde ; au printemps il

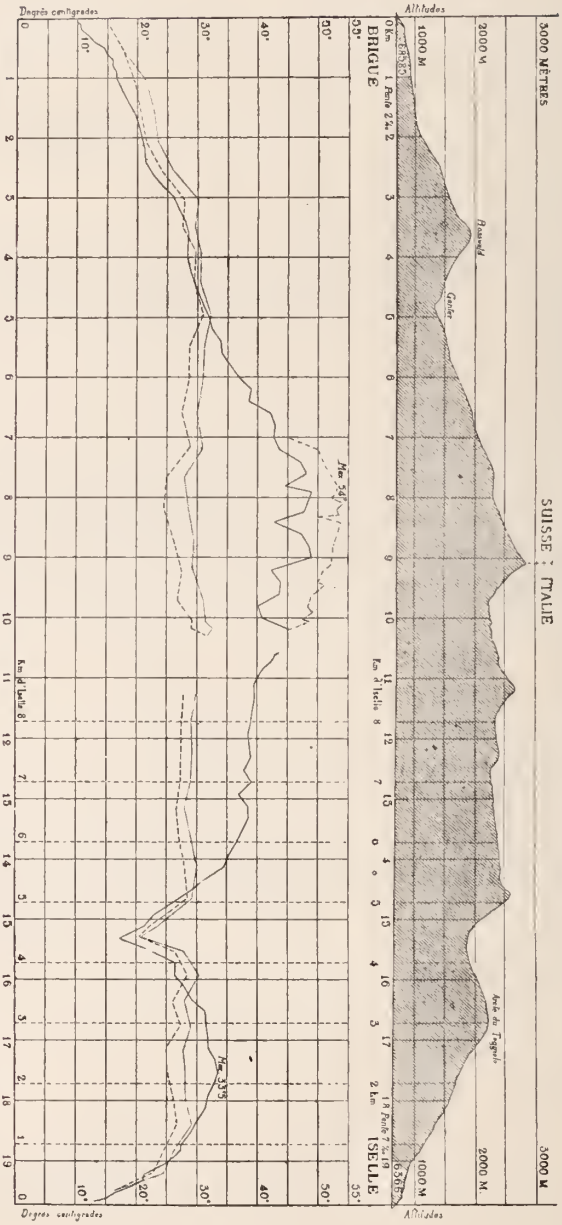


Fig. 8. Tableau graphique de la variation des températures de la roche et de l'air à l'avancement. Observations faites jusqu'au 30 septembre 1904.

se réduit à 700 litres. Ces eaux proviennent de terrains calcaires fissurés. M. H. Schardt rappelle que le petit lac d'Avino, situé au-dessus du tunnel, fut dès l'abord rendu responsable de ce méfait, mais bien à tort car on constate que sa cuvette est imperméable et son écoulement superficiel. Ces eaux proviennent sans doute d'une nappe souterraine, cachée dans les flancs de la montagne, et alimentée par les eaux atmosphériques absorbées à la surface.

La saignée formidable faite par les deux galeries a abaissé considérablement le niveau piézométrique de cette nappe souterraine : les sources de Nembro ont tari, celles de la Prese de Gebbo disparaîtront également.

Le 31 avril 1904, la galerie principale du côté nord avait atteint 10 370 mètres, et dépassé de 540 mètres le point culminant du tunnel, quand une nouvelle poussée d'eau fit irruption. Son débit était de 70 litres par seconde et sa température de 48°.

Au commencement de septembre 1904, au kilomètre 9,130 de l'entrée sud, des sources d'eau chaude se sont également montrées ; leur débit était d'environ 65 litres à la seconde et leur température de 43°.

Nous donnerons, dans notre étude technique, les moyens mis en œuvre pour combattre ces venues d'eau. Mais avant de terminer cette seconde partie de notre article, nous devons dire quelques mots des reproches adressés aux géologues : nous y avons fait allusion en commençant. Sans attacher une grande importance aux affirmations de M. Ed. Sulzer-Siegler (1), nous tenons cependant à les relever parce qu'elles ont beaucoup occupé l'opinion publique en Suisse lors de la demande de subventions supplémentaires faite par les entrepreneurs. Dernièrement le Grand Conseil du Tessin, invité à se prononcer sur le projet d'un

(1) M. Ed. Sulzer-Siegler est avocat, conseiller fédéral et associé de la firme Sulzer frères de Winterthur.

tunnel sous le col de la Greina, projet que nous avons signalé tantôt, a décidé de ne pas faire dresser de profil géologique. L'exemple du Simplon, mis en avant par M. Ed. Sulzer-Siegler, démontrerait l'absolue inutilité de ce profil pour une telle entreprise.

Les prétentions de M. Ed. Sulzer-Siegler portent sur ces deux points principaux : les prévisions des rapports géologiques relatives à l'inclinaison des couches, à la nature des terrains, aux venues d'eau et à la température des roches sont contraires aux résultats fournis par l'expérience. Dès lors, les entrepreneurs ont droit à des indemnités et à une prolongation de délai en raison des difficultés rencontrées et non prévues.

Laissons pour le moment la conclusion, et considérons la raison sur laquelle on l'appuie. Nous avons dit plus haut comment en 1898, c'est-à-dire au début des travaux, on s'était basé sur une copie défectueuse du profil de 1890 (voir plus haut la fig. 5). Si ce fut une faute, il serait injuste de l'imputer aux géologues. Ils en sont d'autant moins responsables qu'il ne semble pas qu'on les ait consultés depuis 1890. Or, il est vraisemblable que, si de 1890 à 1898 on avait procédé à une nouvelle expertise, le principe de renversement du gneiss jusque sur les schistes mésozoïques du versant nord aurait été accepté. Quoi qu'il en soit d'ailleurs, nul n'ignore que les géologues ne prétendent pas à l'infaillibilité stratigraphique, et on serait mal venu à leur reprocher des erreurs, même considérables, dans la solution d'un problème aussi complexe que celui que pose la structure du massif du Simplon. C'est aux praticiens que revient le soin de déterminer de leur mieux le champ que les hypothèses scientifiques laissent ouvert aux caprices de la nature. Vraisemblablement les entrepreneurs des travaux du Simplon en ont agi de la sorte, et ils n'ont point cru qu'ils possédaient, dans les rapports des géologues, le détail précis de la nature et de l'inclinaison des couches à traverser, le débit

et la température des sources qu'ils rencontreraient sur leur route : le problème est indéterminé; ils n'ont pu l'ignorer.

Mais si M. Ed. Sulzer-Siegler en veut aux géologues de la Commission du Simplon, il ne doute pas — et nous partageons son avis — de la science et de l'habileté des topographes et professe la plus absolue confiance dans l'extrême précision des procédés de triangulation utilisés au Simplon.

Nous ne nous attarderons pas au détail de ces levés topographiques ; les lecteurs qu'ils pourraient intéresser, les trouveront dans des ouvrages spéciaux publiés avec tout le soin désirable (1). Bornons-nous à quelques indications sur le procédé général.

Toute la région du tunnel a été couverte d'un réseau de triangles appuyé sur trois points principaux : le sommet du Monte Leone situé au-dessus de l'axe et au milieu de la longueur du tunnel, et deux sommets se dressant respectivement en face des entrées nord et sud. Des cheminements ont été faits en prenant ces sommets munis de leurs signaux comme points fixes. On a déterminé ainsi l'axe du tunnel sur le plan et sur le terrain. La direction rectiligne du tunnel est d'une perfection telle qu'à cinq kilomètres on aperçoit encore l'orifice ; s'il disparaît au delà, c'est que la perspective le soustrait à l'observation.

Pour assurer la direction rectiligne de la percée, on a pris soin de l'amorcer en construisant à l'extérieur une galerie de direction.

(1) *Special Berichte der Direktion der Jura-Simplon-Bahn an das Schweizerische Eisenbahndepartement über den Bau des Simplon Tunnels. Bestimmung der Richtung, Länge und Höhenverhältnisse*, von M. Rosenmund, Ingenieur des Eidgenöss-topographischen Bureau (en cours de publication).

III

Étude technique des travaux du Simplon

1° Installations hydrauliques et mécaniques aux entrées du tunnel et transport de force

a) Installations motrices hydrauliques à l'entrée nord.

La force nécessaire à la perforation mécanique, à la ventilation et aux services accessoires est fournie au nord par les eaux du Rhône.

La captation des eaux se fait à un peu plus de 4 kilomètres en amont de l'entrée du tunnel, sur le territoire de la commune de Mörel à 739 m. d'altitude (planche I).

Pendant la saison d'été, l'eau du Rhône est trouble et charrie quantité de débris. A cette époque de l'année, en effet, la fonte des neiges est la plus abondante dans les glaciers, et les eaux de fusion, grâce à leur vitesse torrentielle, emportent avec elles les débris poussiéreux des roches effritées. Ce sont ces matières solides en suspension qui donnent cet aspect trouble caractéristique à l'eau des torrents. Il faut avant tout la débarrasser de ces souillures nuisibles au bon fonctionnement des turbines hydrauliques.

Pour y parvenir on a installé un bassin de 80 m. de long, à côté du barrage établi dans le lit du fleuve. Les eaux arrêtées par le barrage sont reçues dans ce bassin, où leur vitesse très amoindrie permet aux matières en suspension de se déposer en grande partie. On réalise donc de la sorte une vraie décantation. Un système de vannes et de trop-pleins permet de régler le débit de l'eau dans le canal d'amenée du bassin au château d'eau.

Ce canal a une longueur de 3200 m. et une pente de 1,2 ‰ ; il est construit en béton armé du système Hennebique, et à ciel ouvert. Il n'a pas fallu d'ouvrages d'art

PL. I. — CAPTATION DES EAUX DU RHÔNE SOUS MÖREL (SUISSE).

pour l'établir : une terrasse d'alluvions, des blocs erratiques et des parois de rochers sensiblement verticales les ont rendus inutiles. Le château d'eau où se déversent les eaux de ce canal est destiné à régler le débit dans la conduite sous pression. Il se compose d'un bassin garni de canaux latéraux et d'un puits muni d'un trop-plein.

La conduite d'eau sous pression est en tôle de fer ; sa longueur est de 1497 m., son diamètre intérieur de $1^m,60$ et la tôle de ses parois a une épaisseur variant de $0^m,006$ à $0^m,007$. Elle descend d'abord de la terrasse d'alluvions, en pente maximum de 55 °/₀ ; plus loin, elle longe un petit chemin de fer qui dessert la carrière de la Massa d'où l'on tire les pierres de construction du tunnel. Il a fallu détourner et surélever la route de la Furka, à son intersection avec la conduite sous pression et le chemin de fer de la carrière, qui aboutissent enfin aux installations après avoir franchi de concert un pont jeté sur le Rhône.

La différence de niveau entre le château d'eau et les turbines est de 52 mètres.

Les dimensions de la conduite d'eau sous pression sont calculées de façon à permettre un débit maximum de 5 m^3 par seconde. Mais pour ce débit la hauteur de chute utile est réduite à $44^m,60$. On obtient donc une puissance disponible d'environ 3000 chevaux. Au débit de 3 m^3 par seconde, la hauteur de chute utile est de 49 m. et la puissance disponible d'environ 2000 chevaux.

b) Installations motrices hydrauliques à l'entrée sud.

A l'entrée sud, la force nécessaire aux travaux du tunnel est empruntée à la Diveria. La captation des eaux se fait à 3200 m. au nord d'Iselle à proximité de la frontière italo-suisse, et à l'altitude de $794^m,30$. L'eau est retenue par un barrage et conduite dans un bassin de décantation comme à l'entrée nord. Il nous suffira d'indiquer ici les différences essentielles des deux installations.

Les fortes pentes du terrain dans la gorge de Gondo n'ont pas permis d'établir un canal d'amenée jusqu'à un

château d'eau; il a fallu brancher directement la conduite d'eau sous pression sur le bassin de décantation. L'inconvénient de cette disposition est évident : elle exige une conduite d'eau sous pression sur tout le parcours de la dérivation. Or, tandis qu'un canal à ciel ouvert ne doit résister qu'au poids du liquide qu'il transmet, une conduite sous pression est soumise en outre à l'effort hydrostatique de sa charge et par suite sa solidité, nécessairement plus grande, la rend plus coûteuse. Elle est construite en partie en fonte, en partie en fer ; son diamètre varie de $0^m,90$ à 1 m. et sa longueur mesure 4274 m. Elle longe la route du Simplon jusqu'à 120 m. d'Iselle ; là elle franchit une première fois la Diveria (planche II), traverse plus loin une galerie de 290 m. et franchit une seconde fois la rivière avant d'aboutir aux bâtiments des turbines à 618 m. d'altitude. La hauteur de chute brute est donc de 176 m.

Le débit maximum prévu par le calcul est de $1^{m^3},4$ par seconde ; quand il est réalisé, la hauteur de chute disponible est réduite à 130 m., ce qui correspond à une puissance motrice de 2400 chevaux. Pour un débit de 1 m^3 par seconde, la hauteur de chute disponible est de 158 m. et l'équivalent mécanique 2000 chevaux.

La seconde fois que la conduite d'eau sous pression traverse la Diveria, elle la franchit sur un pont qui porte en outre un chemin de fer et une voie carrossable. Ce pont est constitué d'une poutre en fer et de treilles à contrevêtements de 40 m. de portée, de 3 m. de large et de 5 m. de hauteur.

c) Disposition générale des installations aux entrées du tunnel.

Revenons à l'extrémité nord. Le cours du Rhône y a été détourné de son lit naturel et rapproché du tunnel afin d'éviter la formation de méandres.

L'espace occupé par les installations couvre une superficie de 6 hectares (planche III). Dans la partie centrale

PL. II. — CONDUITE D'EAU SOUS PRESSION PRÈS D'ISELLE (ITALIE).

s'élève le grand bâtiment des machines qui comprend la forge et l'atelier de réparations, le local des générateurs et des machines à vapeur de réserve, le hall des turbines et des pompes, et la salle des dynamos électriques.

Les locaux de la station sont situés entre le grand bâtiment des machines et l'entrée du tunnel ; la voie ferrée les partage en deux. On y trouve d'une part les bains, les lavoirs, les séchoirs et le restaurant, et d'autre part le bureau du contrôle pour le personnel, une petite infirmerie, et un magasin d'appareils de secours.

Plus loin, à l'entrée du tunnel principal, se dresse le bâtiment de la ventilation ; enfin en amont et sur la rive droite du Rhône, on a construit le dépôt des explosifs.

Un édifice à trois étages situé en aval du grand bâtiment des machines, le long du Rhône, est réservé aux bureaux et au logement du personnel de l'entreprise.

Ces vastes constructions sont complétées par des entrepôts de matériaux et de bois, des scieries, une fabrique de briques en ciment, et un hôpital.

Une voie ferrée d'un développement de 7 kilomètres et à l'écartement de $0^{m},80$ dessert les installations et se raccorde à la ligne du tunnel.

Pour le service des eaux, comprenant l'eau potable, l'eau sous pression des perforatrices et des ventilateurs, on emploie l'eau du Rhône puisée au fond du lit ; une pompe centrifuge aspire cette eau et la refoule dans un petit réservoir, d'où elle est distribuée dans les diverses parties des installations.

Enfin le service de l'éclairage électrique comprend 38 lampes à arc et 468 lampes à incandescence.

Du côté sud, où le tunnel débouche, à Iselle, dans la gorge resserrée du Gondo, nous avons dit que l'entrée avait été choisie de façon à permettre l'emplacement des installations ; nous ne nous attarderons pas à les décrire, car elles sont, à peu de chose près, la reproduction de celles de l'entrée nord (planche IV).

d) Installations hydrauliques et mécaniques aux entrées du tunnel.

Voyons maintenant comment on utilise l'eau sous pression dans les installations motrices que nous venons de mentionner. Les machines étant à peu près identiques aux deux extrémités du tunnel, nous décrirons en détail celles du nord et nous passerons plus rapidement sur celles du sud.

Dans le grand bâtiment des machines (planche V), quatre turbines à roues Pelton munies de lames horizontales sont calées sur un seul arbre dont les paliers reposent sur le sol. Elles forment un système homogène.

Trois locomobiles à vapeur de réserve d'une puissance totale de 220 chevaux sont calées sur le même arbre. Elles n'ont fonctionné que quelques heures pendant toute la durée des travaux, pour permettre la réparation d'une turbine.

La turbine n° 1, d'une puissance de 600 chevaux, à axe horizontal, agit, par l'intermédiaire d'un engrenage, plus spécialement sur quatre grandes pompes accouplées par paire ; ces pompes sont à piston plongeur différentiel, à simple aspiration et refoulement à double effet, avec deux soupapes ; la chambre à air du tuyau d'aspiration est logée dans le bâti.

La course du piston est de 1 m. ; ses diamètres $0^m,06$ et $0^m,08$. A 65 tours à la minute, chaque pompe peut fournir 12 litres par seconde sous une pression maximum de 120 atmosphères. L'eau est aspirée dans un canal commun à toutes les pompes, et refoulée dans la conduite du transport de force hydraulique ; sur cette conduite est branché un accumulateur à contrepoids construit de telle façon que, lorsque les perforatrices n'utilisent pas l'eau, celle-ci retourne au canal d'alimentation. La charge de cet accumulateur est réglée d'après la pression à réaliser.

Les turbines n° 2 et n° 3, d'une puissance de 250 chevaux chacune, actionnent particulièrement, par l'intermé-

PL. III. — INSTALLATIONS DU TUNNEL DU SIMPLON A BRIGUE (SUISSE).

diaire d'engrenages, 6 pompes à compression d'eau, d'un modèle analogue, mais plus petit ; elles peuvent refouler chacune 6 litres par seconde sous 120 atmosphères de pression, à 78 tours par minute. La course du piston est de $0^m,66$, ses diamètres $0^m,048$ et $0^m,068$.

L'eau sous pression fournie par toutes ces pompes est envoyée dans les deux galeries du tunnel par deux conduites de $0^m,10$ de diamètre. Là elle est utilisée à la perforation mécanique, à la ventilation et à quelques services accessoires.

La turbine n° 4, d'une puissance de 600 chevaux, met partiellement en mouvement deux compresseurs à air du système Burckhardt et Cie et du système Ingersoll, l'excès de puissance sert de réserve ; on dispose donc d'une puissance de 1700 chevaux sur le grand arbre de couche.

L'air comprimé, sous la pression de 100 atmosphères, est envoyé au fond du tunnel par des tuyaux de $0^m,05$ de diamètre ; il actionne les locomotives qui manœuvrent les wagons dans les chantiers.

Afin d'abaisser, dans une certaine mesure, la température à l'intérieur du tunnel, on a établi deux pompes centrifuges jumelles, à haute pression d'eau, du système Sulzer, calées directement sur l'axe commun des turbines indépendant toutefois du grand arbre de couche. Elles sont construites pour un débit de 80 litres à la seconde chacune sous une pression de 22 atmosphères et à la vitesse de 1050 tours à la minute ; elles absorbent 300 chevaux de puissance. Les cylindres de ces pompes peuvent être réunis en dérivation ou en tension, de façon à porter au besoin la pression à 44 atmosphères.

La conduite d'eau pour la réfrigération a un diamètre de $0^m,25$ et est soigneusement isolée.

A l'entrée nord, la station électrique est adossée au grand bâtiment des machines. Deux turbines, construites l'une par J. J. Rieter et Cie, l'autre par les ateliers de construction à Vevey, actionnent simultanément, par l'in-

termédiaire de courroies et de transmissions, deux dynamos à courant continu de 30 et 125 chevaux de puissance, qui fournissent le courant, à la tension de 120 volts, pour le service de l'éclairage. Un générateur à courant continu, d'une puissance de 30 chevaux, alimente une grue électrique destinée à la vidange des wagons de déblais venant du tunnel. Cette grue électrique, de 4 tonnes, a un bras de levier de 5 mètres ; son moteur réalise les mouvements suivants : l'avancement de la grue sur les rails, la rotation de la grue, l'amenée des wagonets sous la grue, le levage des wagonets, enfin leur déversement.

Toutes les manœuvres se réalisent aisément par la combinaison de ces cinq mouvements ; ils sont commandés par quatre ou cinq hommes et exigent 1,5 minute pour la vidange d'un wagonet.

En somme, du côté nord on dispose d'une puissance de 2230 chevaux sur l'arbre des turbines.

A l'entrée sud, la puissance disponible sur l'arbre des turbines est de 1950 chevaux. La grande dynamo, d'une puissance de 100 chevaux, est calée directement sur l'arbre d'une turbine sortant des ateliers de construction de Vevey ; elle fournit le courant sous une tension de 120 volts pour le service de l'éclairage, tandis que la petite dynamo, d'une puissance de 25 chevaux, est mise en mouvement par l'intermédiaire de courroies ; elle alimente le service de l'éclairage dans les parties éloignées des installations sous une tension de 250 volts.

Ici la vidange des wagonets se fait à la main et par les portes latérales dont ils sont munis. La forme de ces wagonets nous a paru défectueuse pour la vidange à la main. Au lieu d'une caisse rectangulaire à fond plat, la forme en V et à culbutage, réalisant la vidange complète par le culbutage lui-même, eût peut-être été préférable. Il est vrai que le fond plat rend le remplissage plus facile, le wagonet étant plus bas, et donne à celui-ci une stabilité plus grande, avantage appréciable pour une circulation à

vitesse relativement grande, sur des voies provisoires. Quant au recours à la grue électrique, bien qu'il exige une puissance supplémentaire, il paraît indiqué dans des installations aussi considérables que celles-ci.

Un des services les plus importants dans la construction d'un grand tunnel est celui de la ventilation. Il doit être établi de façon à fournir à tous les chantiers la quantité nécessaire d'air frais et à emporter l'air vicié ; en d'autres termes, il doit suffire à une aération continue. Ajoutons que ces installations sont destinées à fonctionner, non seulement pendant les travaux, mais aussi au cours du service d'exploitation du chemin de fer.

Du côté nord, les deux ventilateurs, à axe horizontal, calés directement sur l'arbre des turbines, sont superposés ; du côté sud, ils sont calés aussi directement sur l'arbre des turbines, mais placés côte à côte. A part cette légère différence dans leur position relative, les ventilateurs sont identiques. Chacun d'eux exige une puissance de 200 chevaux ; ils sont formés de roues à palettes de $3^m,75$ de diamètre et de $1^m,25$ de largeur, qui tournent à la vitesse de 350 tours à la minute. Dans ces conditions, il se produit un déplacement de 25 m^3 d'air par seconde à la pression de $0^m,25$ d'eau. Ils peuvent tourner dans les deux sens, et être accouplés en dérivation ou en série. Dans le premier cas, ils sont capables de fournir ensemble 50 m^3 d'air à la seconde, à la pression de $0^m,25$ d'eau ; dans le second cas, leur débit total est de 25 m^3 à la seconde sous la pression de $0^m,50$ d'eau ; leur rendement est de 40 %. Les turbines sont construites pour fournir une puissance maximum de 260 chevaux et pour tourner à la vitesse maximum de 400 tours à la minute.

L'air frais pénètre dans le tunnel par la galerie parallèle ; il y chemine jusqu'à la dernière traverse oblique, et retourne à l'extérieur par la galerie principale. Nous aurons l'occasion de revenir tantôt sur ce procédé de ventilation,

à propos de la traction, avec laquelle il est actuellement en relation intime.

En général, les fronts d'attaque sont situés au delà de la dernière traverse oblique ; leur ventilation est assurée par un ventilateur de galerie placé à l'extrémité de la galerie parallèle et dans le voisinage de la dernière traverse. Ce ventilateur de galerie est constitué d'un groupe de deux petits ventilateurs accouplés en quantité ou en série. Une petite turbine Pelton d'une puissance de 10 chevaux, actionnée par l'eau sous la pression de 80 atmosphères et un débit de 1,5 litre par seconde, à la vitesse de 2500 tours par minute, est calée sur l'arbre de chacun de ces petits ventilateurs ; ceux-ci ont un débit de $0^{m3},750$ d'air par seconde à la pression de $0^{m},50$. Ils refoulent cet air jusqu'au front d'attaque à travers des tuyaux de $0^{m},25$ de diamètre environ.

D'après les rapports trimestriels dressés par l'administration des chemins de fer fédéraux suisses, il a été introduit journellement, en 1902, dans le tunnel du côté nord près de 3 millions de mètres cubes d'air à la pression de $0^{m},227$ d'eau ; à cette époque le front d'attaque se trouvait à 7,5 kilomètres environ de l'orifice. Du côté sud, la ventilation absorbait 1 600 000 m^3 d'air environ à la pression de $0^{m},097$ d'eau, le front d'attaque étant à peu près à 5 kilom. de l'entrée du tunnel ; on venait de rencontrer là les sources d'eau froide et les terrains ébouleux, ce qui explique le retard de l'avancement et la ventilation moins énergique.

Depuis lors, les quantités d'air introduites sont d'environ 2 1/2 millions de m^3 en 24 heures, de chaque côté du tunnel, à la pression moyenne de $0^{m},26$ d'eau. Toutefois, dans ces derniers temps, la température élevée des galeries a exigé que l'on augmentât le débit des ventilateurs sans cependant atteindre son maximum.

PL. IV. — INSTALLATIONS DU TUNNEL DU SIMPLON A ISELLE (ITALIE).

2° Travaux dans le tunnel

a) Méthode de construction.

Le mode de construction employé dans les travaux du tunnel est la méthode dite mixte (1), ou par galerie de pied, appelée aussi méthode anglaise (2).

On peut distinguer trois chantiers principaux dans l'exécution du travail : le chantier d'*abatage* des galeries de base, dit *avancement* ou *front d'attaque*. Il mesure 3 m. de large et 2 m. de hauteur. Le chantier de *mise au profil définitif*, dit *élargissement*, suivi du *revêtement en maçonnerie :* il occupe 5 m. en largeur sur $5^{m},50$ en hauteur (planche VI). Enfin le chantier d'*achèvement*.

Dans la galerie principale les deux premiers chantiers se suivent à une distance moyenne d'un kilomètre (500 m. du côté nord, 1500 m. du côté sud). Dans la galerie parallèle on n'organise, pour le moment, que le chantier d'abatage.

b) Chantier d'abatage.

Le travail le plus important est celui de la perforation au front d'attaque, car c'est de son allure que dépend celle des autres chantiers.

La perforation mécanique n'est appliquée qu'aux avancements des galeries principale et parallèle, ainsi qu'aux traverses obliques ; on y emploie la perforatrice hydraulique Brandt (3).

L'outil qui entame la roche a un diamètre de $0^{m},07$ et est armé de trois dents très dures et très tranchantes ; il tourne avec une vitesse de 5 à 7 tours par minute, d'après la dureté de la roche, en même temps qu'il s'applique

(1) Voir Haton de la Goupillière, *Cours d'exploitation des mines*, tome I, 1894. — Bridel, *Examen critique des systèmes d'exécution appliqués à la construction rapide des grands tunnels*. Lucerne, 1883.

(2) Voir A. Habets, *Cours d'exploitation des mines*, tome I, 1902.

(3) Pour la description détaillée, voir Pestalozzi (bibliographie, mise en tête de l'article).

au fond du trou de mine sous une pression d'environ 11 000 kg. Cette pression et la rotation lente simultanées produisent le morcellement de la roche. L'outil est creux, de façon à permettre une circulation d'eau qui le refroidit et expluse les débris d'une façon continue.

Dans cette perforatrice (fig. 9), le piston est fixe et le cylindre mobile : ce dernier glisse, par l'intermédiaire de

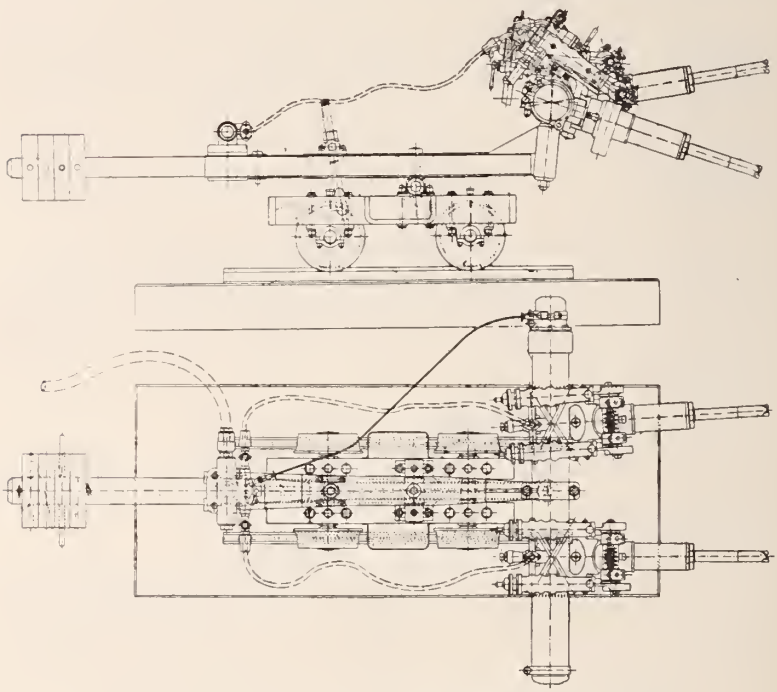


Fig. 9. Perforatrices hydrauliques Brandt montées sur affût. Coupes verticale et horizontale. Échelle, 1 : 42.

cuirs à frottement doux, sur le piston. L'eau sous pression est admise entre les parties fixes et les parties mobiles.

Le mouvement de rotation est communiqué par deux cylindres en bronze de $0^m,061$ de diamètre et $0^m,066$ de course, fixés sur le piston et qui se servent mutuellement de distributeur. Ces cylindres actionnent une vis sans fin qui engrène un pignon fixé sur une enveloppe reliée elle-

même, par cale et rainure longitudinale, au cylindre porte-outil et lui communique le mouvement lent de rotation.

L'eau sous pression est amenée aux diverses parties de l'appareil au moyen de tuyaux, munis de robinets et de manomètres qui permettent d'y régler la pression. L'eau d'échappement des cylindres-moteurs est conduite dans l'axe de l'outil pour expulser les débris.

Lorsqu'on veut allonger la tige, que l'outil est émoussé ou que le trou est terminé, on réalise le mouvement en arrière, en laissant s'écouler l'eau qui se trouve entre les fonds du cylindre et le piston, et en admettant ensuite l'eau sous pression dans l'espace annulaire réservé entre le piston et le cylindre.

Chaque perforatrice absorbe une puissance de 25 chevaux et pèse environ 130 kg., elle est montée sur une colonne creuse horizontale de $0^m,24$ de diamètre et de $2^m,80$ de longueur, calée contre les parois de la galerie à l'aide d'un piston hydraulique ; cette colonne est branchée sur la conduite générale d'eau sous pression. L'attaque se fait en général à l'aide de trois de ces engins à chaque front ; il y a donc une pression de plus de 30 000 kg. dans la colonne.

Les perforatrices et leur colonne de calage sont montées sur un châssis, mobile sur rails, par l'intermédiaire d'un balancier à contrepoids à bras inégaux. On règle la distance du contrepoids d'après le nombre de perforatrices en travail. Les trous de mine ont un diamètre de $0^m,07$ environ et une longueur moyenne de $1^m,80$; leur nombre varie de 6 à 12, suivant la dureté de la roche.

Le nombre d'attaques varie de 4 à 7 par jour. L'influence des divers facteurs de la perforation se mesure par l'avancement du front d'attaque. Dans les roches dures, l'avancement est de 4 mètres par jour ; dans les roches tendres, il peut atteindre 9 mètres.

Comme explosif on emploie la dynamite à 92 % de

nitroglycérine livrée en cartouches de $0^m,065$ de diamètre, pesant 500 grammes. L'excavation d'un mètre cube de roche exige, en moyenne, 5 kg. de dynamite. On utilise environ 550 kg. d'explosifs par jour, une seule charge comprenant environ 40 kg. de dynamite.

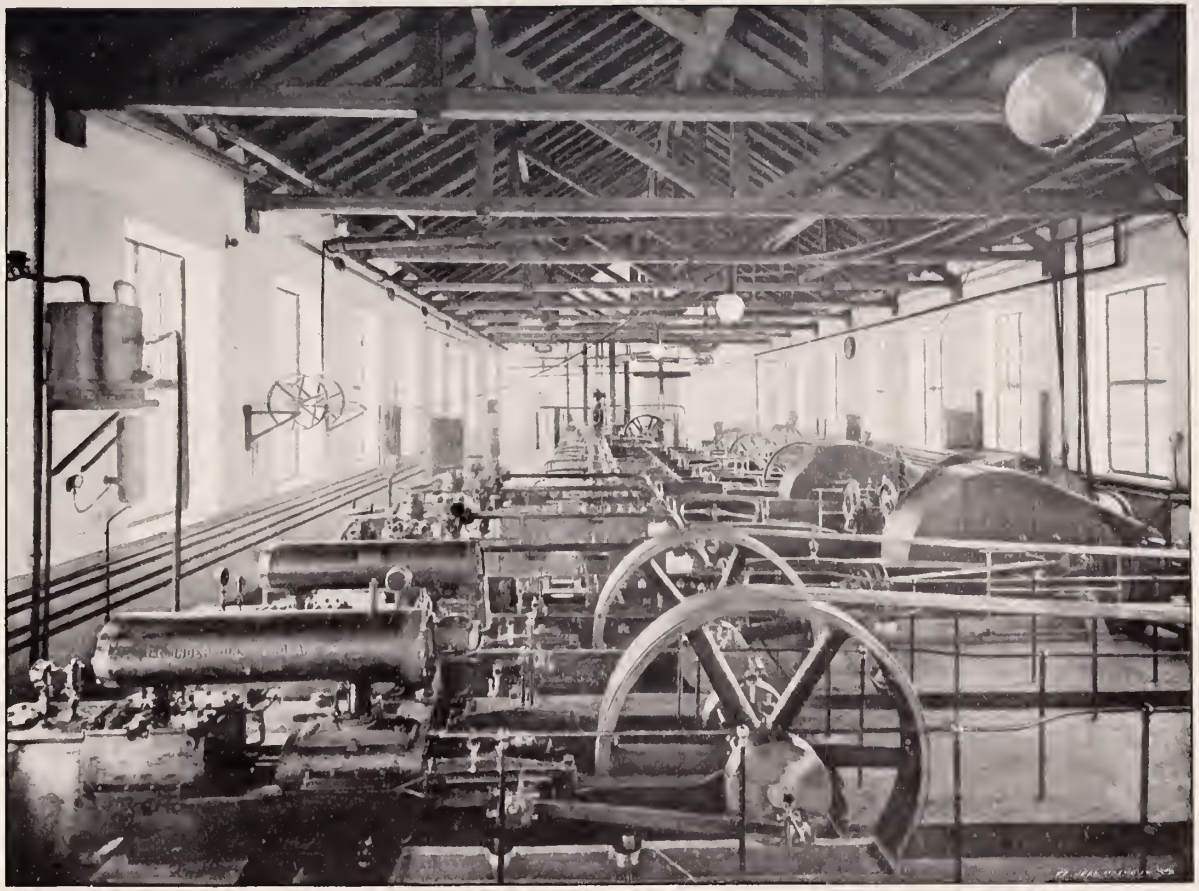
L'allumage est ainsi réglé que le tir commence par l'explosion de deux ou trois cartouches seulement, pour se terminer, un peu plus tard, par celle de toutes les autres ; de la sorte une partie de la roche est plus ou moins dégagée au moment où se reproduit l'effort principal.

Les essais tentés sur un explosif à base d'air liquide n'ont pas donné de résultats satisfaisants.

Après l'explosion, il est de règle d'attendre de dix à quinze minutes pour donner le temps à la fumée de se dissiper et à l'air de se renouveler.

Une des grandes préoccupations des constructeurs de tunnels est de se débarrasser rapidement des débris des roches éventrées. Les entrepreneurs du Simplon ont imaginé plusieurs appareils destinés à effectuer l'enlèvement hydraulique des déblais. Le principe sur lequel ils reposent consiste à injecter de l'eau sur le front d'attaque au moment de l'explosion, de façon à emporter les déblais sous une énorme quantité d'eau. Des expériences préalables faites à l'air libre, avaient donné des résultats satisfaisants et l'entreprise avait même garanti le succès du procédé. Malheureusement au front d'attaque il est impossible de saisir l'instant de l'explosion, et les injections d'eau, se produisant trop tôt ou trop tard, sont dans les deux cas plus nuisibles qu'utiles. Il a donc fallu revenir à l'ancienne méthode. Dès que les ouvriers reviennent sur le lieu de l'explosion, ils commencent par dégager vivement la voie en rejetant les débris sur les côtés ; puis les wagonets sont amenés et chargés à la main.

Après l'enlèvement des déblais, la conduite d'eau sous pression, la conduite de ventilation et la voie ferrée sont



PL. V. — HALL DES COMPRESSEURS A BRIGUE (SUISSE).

prolongées ; on amène le chariot des perforatrices, on cale la colonne contre les parois et la perforation recommence.

L'installation de ces engins dure de vingt à trente minutes ; leur éloignement, avant l'explosion, dure à peu près autant. La manutention du chariot est assez difficile et exige le concours de tout le personnel du chantier.

c) Chantier de mise au profil définitif et revêtement en maçonnerie.

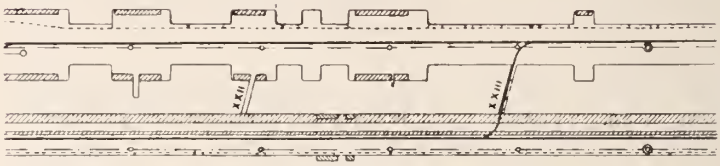
Plusieurs méthodes de construction ont été suivies. Au début, dans le tunnel nord, on élargissait la galerie de base jusqu'aux dimensions du profil définitif ; puis on maçonnait les pieds droits jusqu'à la même hauteur. Sur les pieds droits on fixait un plancher, à $2^{m},20$ au-dessus du sol. Les ouvriers s'y installaient pour achever l'excavation vers le haut sur toute sa largeur. Ils abattaient d'abord une tranche de $1^{m},50$ de hauteur, surélevaient les pieds droits, installaient un second plancher et poussaient ainsi l'excavation et la maçonnerie jusqu'à la mise au profil définitif. Mais cette méthode donna des résultats médiocres ; il fallut l'abandonner en partie, à cause des éboulements qu'elle provoquait dans les terrains peu résistants.

Du côté sud, on commença par établir des cheminées tous les cent mètres en les poussant jusqu'au faîte du tunnel ; on partait de là, en avant et en arrière, en creusant deux galeries de faîte jusqu'à leur rencontre avec les galeries correspondant aux cheminées voisines ; on élargissait ensuite, et on abattait le stross. Cette méthode, dite anglaise, avait l'inconvénient de rendre très imparfaite la ventilation des galeries de faîte.

Dans la suite, on modifia le procédé et on l'employa de la même manière dans les deux tronçons. D'après la nature des roches, et à une distance maximum de 50 mètres, on établit des cheminées en suivant la méthode anglaise (fig. 10) ; grâce à une ventilation abondante, les chantiers furent dès lors suffisamment aérés.

Le lecteur se demandera peut-être pourquoi on n'attaque pas la galerie principale sur toute sa section verticale de façon à la mettre immédiatement au profil définitif? — Tout d'abord, l'emploi de perforatrices mécaniques sur un front d'attaque de 5 m. de largeur sur $5^{m},50$ de hauteur ne serait pas pratique : il faudrait constamment installer et déplacer les échafaudages qui devraient les supporter. En outre, l'emploi de perforatrices mécaniques dans les galeries de faîte rend difficile le transport des

Profil en long.



Plan.

Fig. 10. Coupe suivant l'axe du tunnel principal.
Échelle { 1 : 6000 suivant l'axe du tunnel.
1 : 600 pour les dimensions transversales.

chariots. Enfin si la perforation mécanique, pratiquée dans la galerie de base, permet là un avancement plus rapide, l'indépendance complète des chantiers, dans la galerie de faîte, assure le même avantage à la seule condition de mettre au travail un nombre suffisant d'ouvriers. La perforation se fait donc à la main. Les trous de mine ont $0^{m},80$ de profondeur et $0^{m},015$ de diamètre ; ils sont chargés à la dynamite à 65 % de nitroglycérine. L'excavation d'un mètre cube de roche exige en moyenne 800 grammes d'explosif.

Ce n'est que quand la mise au profil définitif est faite sur une grande longueur, qu'on maçonne les pieds droits

et la voûte. Lorsque le tunnel traverse des terrains de résistance moyenne (fig. 11), l'épaisseur de la maçonnerie est de $0^m,35$ à la voûte et à la partie supérieure des pieds droits ; elle est de $0^m,50$ dans leurs parties inférieures.

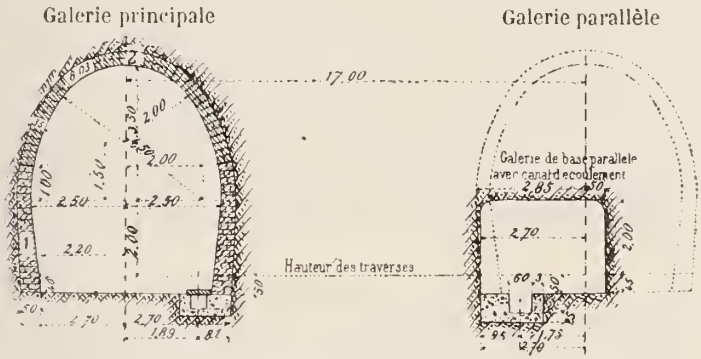


Fig. 11. Profil en travers-type dans les terrains ordinaires.

La voûte est faite en briques et les pieds droits en pierres de taille. Dans les terrains soumis à des pressions, le sol est garni d'une voûte de faible flèche, et tout le revêtement est en pierres de construction (fig. 12).

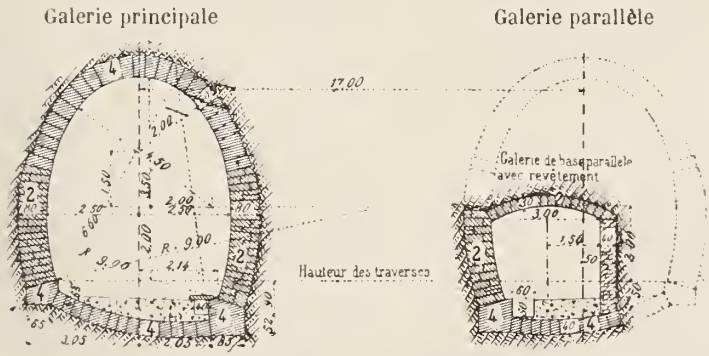


Fig. 12. Profil en travers-type dans les terrains à forte pression verticale.

A Brigue, les pierres de construction sont extraites des carrières de la Massa ; les briques sont fabriquées sur place en ciment comprimé à la presse hydraulique.

A Iselle, les pierres de qualité ordinaire sont extraites des bancs de rochers, sur la rive droite de la Diveria. Les pierres plus solides sont fournies par le ravin de Reale Rovale.

Dans la galerie parallèle, on a établi un canal en béton de $0^m,60$ de large et de $0^m,50$ de profondeur. L'eau de la galerie principale est conduite par de petits canaux de $0^m,30$ de largeur, à travers les traverses obliques, jusqu'au canal principal dans la galerie parallèle.

d) Chantier d'achèvement.

Cette partie du travail comprend l'établissement de la voie avec la signalisation pour l'exploitation du chemin de fer ; elle sera poussée vigoureusement lorsque la jonction des galeries de base aura été effectuée. Au 30 juin 1904, on avait introduit 4238 m^3 de balast du côté nord.

c) Difficultés rencontrées ; moyens mis en œuvre pour en triompher.

Nous n'avons rien dit jusqu'ici des moyens mis en œuvre pour vaincre les difficultés particulières rencontrées au cours des travaux. Celles-ci se rapportent à trois causes : le manque de solidité des terrains, les irruptions d'eau et les hautes températures des roches.

Du côté sud, dans la zone faisant suite à la zone aquifère, on a rencontré des terrains soumis à d'énormes pressions. Pour les retenir on a eu recours à un boisage formé de poutres de $0^m,40$ de côté et alignées les unes contre les autres. Elles cédèrent, dit-on, en certains endroits. Dans ces passages difficiles, l'avancement quotidien ne fut que de $0^m,25$ au lieu de $5^m,50$. Quand le profil définitif était réalisé, on procédait au revêtement en maçonnerie comportant une voûte inférieure de 2 m. d'épaisseur ; les pieds droits avaient $1^m,80$ et la voûte supérieure $1^m,60$ d'épaisseur. Il fallut toute une année pour consolider cette section.

Les venues d'eau ne créèrent pas de moindres difficultés. Voici les moyens que l'on mit en œuvre pour en triompher.

PL. VI. — CHANTIER BOISÉ DANS LE TUNNEL DU SIMPLON.

Du côté nord au kilomètre 10,370, la galerie étant en contre-pente, on continua les travaux en pratiquant l'épuisement à l'aide de pompes. Mais à la suite de l'irruption d'une nouvelle source d'eau chaude, le 31 avril 1904, les travaux durent être arrêtés le 18 mai suivant. On tenta de barrer la route à l'inondation en lui opposant des portes en fer protégées par un serrement en bois ; on espérait maintenir les eaux dans la montagne. Mais le défaut d'étancheté et la crainte de voir les portes céder sous la pression, firent renoncer à pareille entreprise. On disposa alors dans la partie inférieure des portes des tuyaux qui amènent les eaux jusqu'au point culminant du tunnel, d'où elles s'écoulent vers l'entrée nord. L'eau chaude accumulée derrière ces portes en fer, se trouve à une pression de 3 à 4 atmosphères.

Du côté sud, deux venues d'eau importantes ont interrompu les travaux. Comme la pente de la galerie (7 ‰) ne suffit pas à l'écoulement rapide de ces sources, il existe au front d'attaque une mare de $0^m,60$ environ de profondeur, ainsi que nous l'avons constaté lors de notre visite. Dans ces conditions, l'installation des perforatrices n'est pas possible. Il faut, avant d'y songer, vider cette mare dans une proportion convenable. A cet effet, on a construit un canal d'écoulement en contrebas du niveau du sol de la galerie, que l'on dégage ainsi de la plus grande quantité de l'eau qui l'encombre ; en outre, pour faciliter la ventilation on a percé une galerie transversale : le travail de la perforation peut alors se poursuivre au delà de la section aquifère.

Pour lutter contre la température élevée des roches, on s'est contenté au début d'activer la ventilation. C'est ainsi qu'au kilomètre 8 du tunnel nord, la température de l'air a pu être maintenue à 25° jusqu'au moment de l'irruption des sources d'eau chaude, alors que la température de la roche atteignait 40°.

Lorsque, grâce à l'avancement des travaux, la tempé-

rature finit par dépasser la limite admissible de 27°, on a eu recours à la réfrigération par l'eau froide. Comprimée sous la pression de 44 atmosphères, au point de départ, cette eau n'arrive sur les chantiers que sous une pression d'environ 25 atmosphères. Au mois de novembre 1903, on a introduit près de 7000 m^3 d'eau en 24 heures, du côté nord.

L'isolement des conduites d'eau froide est un point capital. Il importe, en effet, d'amener cette eau sur les chantiers à une température aussi basse que possible. Le calorifuge employé est le charbon de bois pulvérisé étalé en couche de $0^m,05$ autour de la conduite et protégé par des feuilles de tôle.

On avait escompté une élévation de température d'un degré centigrade par kilomètre de chemin parcouru dans le tunnel. L'expérience a montré que cette élévation de température n'était que de 1/2 degré centigrade par kilomètre. La température de l'eau augmente de 5° pendant son passage dans la conduite, en sorte qu'elle arrive à l'avancement à la température de 15° en été, de 6° en hiver.

Notons, en passant, que les conduites d'eau sous haute pression sont également isolées ; dès lors le travail des perforatrices donne lui-même naissance à une circulation d'eau réfrigérante, mais légèrement réchauffée par l'outil au fond du trou de mine.

Les appareils de réfrigération consistent, en général, en pulvérisateurs branchés sur des conduites de $0^m,05$ placés sur le sol. Ces pulvérisateurs arrosent les parois du tunnel.

On a proposé toute une série d'autres appareils : citons-en deux. Le premier consiste en un wagon à glace intercalé sur la conduite amenant l'air au front d'attaque ; le second emploie un wagon injecteur d'eau portant un faisceau tubulaire horizontal, placé sur le parcours de l'air, et dans lequel on injecte de l'eau pulvérisée ; pour enlever l'excès d'eau entraînée par le courant, on installe à la suite

du premier wagonet, un wagonet condenseur portant une série de chicanes disposées en forme de jalousies et destinées à recueillir les gouttelettes d'eau.

Ces wagons de réfrigération n'ont pas donné pratiquement les résultats que les essais préalables avaient fait espérer.

3° Transport des déblais et des matériaux et avancement des travaux

Les problèmes que posent le transport des déblais et l'amenée des matériaux de construction sont aussi difficiles à résoudre que leur solution pratique importe à la marche régulière des travaux. Il ne suffit pas, en effet, d'avancer à grands pas au front d'attaque, il faut encore emporter rapidement les déblais hors du tunnel, et y amener les matériaux en quantité suffisante, mais sans excès sur la place disponible. Bref, l'encombrement des chantiers doit être évité.

Pour donner une idée de l'importance des questions de transport au tunnel du Simplon, il suffit de remarquer qu'un avancement de 7 mètres par jour suppose près de 300 m^3 de déblais ; encore pour déterminer la capacité et le nombre des wagonets chargés de les transporter, faut-il tenir compte du foisonnement. Ajoutez-y le transport des matériaux de construction : pierres de taille, sable, chaux, ciment, bois, et personne ne s'étonnera qu'il y ait environ 300 wagons en service à chaque entrée du tunnel, en sorte que le trafic journalier emploie de 550 à 600 wagons, effectuant le trajet aller et retour jusqu'aux chantiers.

Trois locomotives à vapeur assurent le service de la traction dans les installations extérieures et la partie achevée du tunnel. De là les manœuvres des wagonets vers les divers chantiers se font par des locomotives à air comprimé.

Dans la construction des locomotives à vapeur, on s'est

posé les conditions suivantes : la coupe transversale sera aussi petite que possible, afin de permettre la circulation dans les chantiers étroits ; le centre de gravité sera très bas afin de prévenir les déraillements, toujours à craindre sur une voie provisoire ; enfin la chaudière sera de grande capacité et à grand volume d'eau afin d'éviter le chargement du foyer et, par suite, la production de fumée pendant le séjour dans le tunnel.

Voici comment ces conditions ont été réalisées. Les locomotives ont $0^m,80$ d'écartement des roues et peuvent circuler dans les courbes de 15 m. de rayon ; leur largeur maximum est de $1^m,50$, leur hauteur maximum de 2 m. et leur longueur de $4^m,63$.

La chaudière a été construite aussi grande que le permettaient les dimensions transversales que nous venons de donner. Au moment d'entrer dans le tunnel, la chaudière contient son maximum d'eau chauffée à la pression maximum de 15 atmosphères. Lorsque la pression de la vapeur tombe même à 7 atmosphères, les locomotives peuvent encore remorquer leur charge maximum. L'eau portée à haute température constitue ainsi une réserve de chaleur utilisable, sous forme de vapeur, à l'intérieur du tunnel. Pour éviter autant que possible les pertes de chaleur par rayonnement, la chaudière est pourvue d'une enveloppe calorifuge.

La locomotive est portée sur deux axes moteurs couplés, et à l'avant sur un axe à déplacement radial. Le mécanisme de distribution est du système Joy.

La machine est suspendue sur ressorts, et les essieux moteurs sont reliés à l'essieu radial par des tringles.

Le mécanicien est placé sur un plancher aussi bas que possible, de façon à ne pas dépasser 2 mètres de hauteur.

En marche normale, les locomotives à vapeur remorquent 200 tonnes sur palier, ce qui correspond à une puissance de 120 chevaux. La consommation de charbon est de 6 kilogrammes par cheval-heure.

Voici les autres caractéristiques de ces locomotives :

Diamètre du piston.	$0^m,25$
Course du piston	$0^m,30$
Diamètre des roues motrices . .	$0^m,62$
Diamètre des roues porteuses .	$0^m,45$
Écartement des essieux fixes . .	$1^m,40$
Écartement total	$2^m,65$
Surface de chauffe	33 m^2
Surface de la grille.	0,50 m^2
Eau dans la chaudière. . . .	1800 litres
Eau dans le réservoir	345 litres
Charbon	400 kg.
Force de traction au crochet . .	1900 kg.
Poids adhérent	12 tonnes
Poids à vide.	12,5 tonnes
Poids en service.	16 tonnes

Pour effectuer les manœuvres des wagonets de la station intérieure vers les différents chantiers, on a choisi des locomotives à air comprimé afin de diminuer la durée de séjour des locomotives à vapeur dans le tunnel.

L'air comprimé arrive à la station du tunnel sous la pression de 70 atmosphères ; il est emmagasiné dans 27 tubes Mannesmann répartis en 3 batteries indépendantes, de façon à ne pas empêcher la machine de fonctionner en cas de fuite de l'un des tubes. Du réservoir, l'air passe dans un réchauffeur à eau chaude, vertical, placé à côté du mécanicien, puis aux cylindres qui sont au nombre de deux. La course du piston est de $0^m,15$, son diamètre de $0^m,125$. La pression de travail est de 15 atmosphères. Après utilisation, l'air s'échappe à une température assez basse pour contribuer à la réfrigération. Le mouvement est transmis à l'axe moteur au moyen d'un engrenage d'une multiplication de 1 : 3,25. La longueur totale de la locomotive est de $4^m,77$, sa hauteur de $1^m,65$ et sa largeur de $1^m,10$. Le diamètre des roues est de $0,^m62$

et l'écartement des essieux de $1^m,20$. L'ensemble pèse 6590 kg.

La production d'eau chaude exige un foyer dans la station du tunnel, en sorte que les locomotives à air comprimé elles-mêmes dégagent indirectement de la fumée. D'ailleurs, la suppression complète du dégagement de fumée et de chaleur par les locomotives à vapeur est une conception purement théorique.

Mais pourquoi n'a-t-on pas adopté la traction électrique ? Les entrepreneurs ont invoqué contre elle les motifs suivants : l'humidité de l'air, les venues d'eau, le danger résultant de la présence des fils conducteurs, ou le faible rendement des accumulateurs, enfin la mobilité des chantiers.

Ces motifs ne nous semblent pas convaincants, et nous voudrions présenter ici quelques considérations sur les avantages de la traction électrique dans des entreprises du genre de celle-ci.

On invoque l'humidité de l'air. De fait, le service de la traction s'effectue par la galerie principale, et, comme les locomotives à vapeur dégagent de la chaleur et de la fumée, en dépit de toutes les précautions prises, c'est cette galerie qui est affectée au retour d'air du service de la ventilation. Par suite, l'entrée de cet air a lieu par la galerie parallèle qui sert en même temps à l'évacuation des eaux. Or, l'air par son passage en sens inverse au-dessus du canal d'écoulement, sur un parcours de 10 kilomètres, se sature d'humidité, et cette saturation est d'autant plus considérable que l'air s'échauffe au contact des parois du tunnel. Mais la suppression des locomotives à vapeur et leur remplacement par des locomotives électriques eussent permis d'utiliser la galerie principale pour l'entrée de l'air, qui serait dès lors parvenu jusqu'aux chantiers à l'état relativement sec, car l'humidité des parois est toujours localisée en de rares endroits. Double

avantage donc : suppression de la chaleur et de la fumée des foyers, et amenée d'air relativement sec dans les chantiers d'élargissement et dans la galerie principale affectée au transport du personnel.

Les venues d'eau seront-elles plus nuisibles ? Mais il eût été toujours facile, dans la traversée des régions aquifères, de soustraire les conducteurs électriques à l'action de ces eaux. D'ailleurs, le seul inconvénient de l'eau et de l'humidité est ici d'exposer les moteurs électriques à des réparations un peu plus fréquentes que l'air sec leur eût épargnées. Mais cet inconvénient a peu d'importance actuellement.

Quant aux manœuvres dans les chantiers, la locomotive électrique à accumulateurs l'emporte certainement sur la locomotive à air comprimé dont on connaît le faible rendement. Ajoutez à cela que, dans les pays de montagnes, les forces hydrauliques naturelles fournissent gratuitement et en abondance l'énergie nécessaire au service électrique, alors que les locomotives à vapeur consomment du charbon, dont le prix est grevé de frais de transport d'autant plus onéreux que la contrée où l'on opère est plus éloignée des centres houillers. C'est ainsi que le charbon revient à 50 francs la tonne sur les chantiers du Simplon. A ce prix élevé le service de la traction à vapeur a absorbé une somme considérable depuis le début des travaux.

Il est intéressant de rechercher la puissance qu'eût exigée le roulage électrique, d'étudier les conditions et les avantages de son établissement. Mais ce problème technique n'intéressant pas tous nos lecteurs, nous en donnerons le développement dans un appendice à cet article.

Le gouvernement suisse a étudié un projet de traction électrique pour le chemin de fer dans le tunnel du Simplon. Il s'est heurté, surtout, aux questions secondaires pour le matériel roulant qui ont une grande influence pour l'exploitation à l'électricité d'un tronçon de 20 kilo-

mètres. Les trains seront donc remorqués, tout d'abord, par les locomotives à vapeur ; une ventilation énergique assurera l'évacuation des fumées. Dans la suite, la traction électrique sera établie sur toute la ligne du Simplon.

Le diagramme (fig. 13) donne une représentation très parlante de l'état des travaux jusqu'au 25 octobre 1904. Un coup d'œil jeté sur ce diagramme montre bien la marche sensiblement régulière des divers chantiers et permet de comparer l'avancement prévu et l'avancement réel. Toute explication serait superflue.

Disons un mot, en finissant, des réclamations des entrepreneurs.

La convention qui règle définitivement les réclamations de l'entreprise a été signée le 9 octobre 1903 et approuvée par le Conseil fédéral. A l'origine le montant du forfait de l'entreprise s'élevait à 69 500 000 francs, se partageant de la façon suivante :

Pour toutes les installations	7 000 000 frs.
Pour le premier tunnel et la galerie de base du second	47 500 000 »
Pour l'exécution du second tunnel	15 000 000 »
Total	69 500 000 frs.

Le nouvel arrangement fixe comme suit les paiements supplémentaires consentis à l'entreprise en raison des difficultés qu'elle a rencontrées :

Pour les installations	1 400 000 frs.
Pour la construction d'un évitement central de 500 m. de longueur utile, dans la galerie parallèle, avec deux raccordements au tunnel principal, au lieu de l'évitement de 400 m. prévu au contrat dans le tunnel principal élargi à deux voies	1 223 000 »
A reporter	2 623 000 »

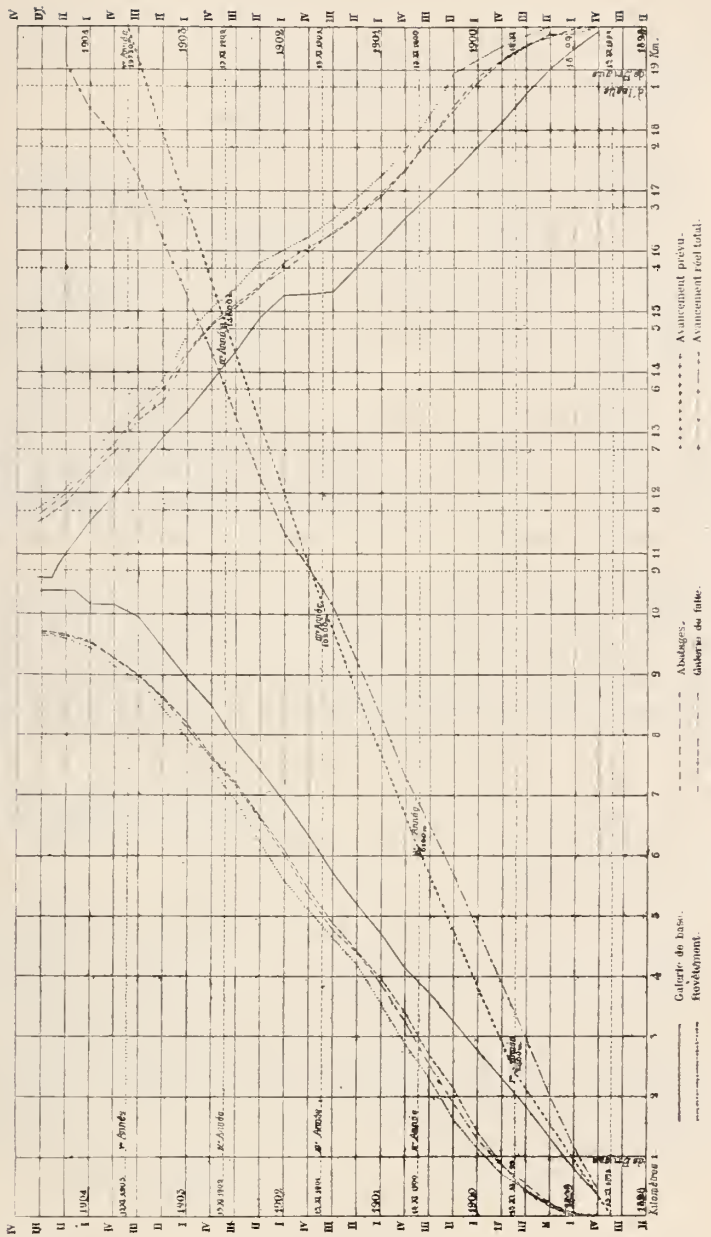


Fig. 15. Tableau graphique de l'avancement des travaux.

Report	2 623 000 frs.
Majoration kilométrique pour le 11e kilomètre et le travail dans la contrepente du côté nord par suite de l'avancement plus rapide de ce côté : 803 m. à 550 fr.	441 650 »
Pour la construction d'un second canal d'écoulement des eaux entre l'entrée sud et le kilomètre 4,450	690 800 »
Total de l'augmentation pour le tunnel principal	3 755 450 frs.

Le délai d'achèvement du tunnel, d'abord fixé au 13 mai 1904, a été reporté au 30 avril 1905, et la prime ou la pénalité de 5000 francs par jour d'avance ou de retard prévue au contrat a été remplacée par une prime ou une pénalité de 2000 francs.

Enfin le forfait pour la construction du tunnel parallèle, dont l'entreprise demandait à être déchargée, a été augmenté de 4 500 000 fr., ce qui le porte à 19 500 000 fr., sous cette réserve que les chemins de fer fédéraux sont libres de faire exécuter ce travail en régie, ou de le confier à une autre entreprise, s'ils le jugent avantageux.

Les dépenses faites par le Jura-Simplon atteignaient 50 063 508 francs au 30 septembre 1903.

Nous ne pouvons clore cette étude sans exprimer un sentiment de sincère et profonde admiration pour cette œuvre grandiose. La hardiesse de sa conception semblait un défi porté à la science de l'ingénieur : elle a triomphé de tous les obstacles en appelant à son aide toutes les énergies de la nature que le génie humain a si admirablement disciplinées. Le succès est digne des efforts surhumains qu'il a coûtés.

Guill. de Fooz.

APPENDICE

CONDITIONS ET AVANTAGES DU ROULAGE ÉLECTRIQUE

Considérons d'abord les charges à transporter. Nous admettons une vitesse maximum de 30 kilomètres à l'heure.

1° *Voyage de la station du tunnel à l'entrée sud.* — Un avancement de 12 m. par jour (le maximum atteint a été de 9 m.) donne lieu à environ 500 m^3 de déblais, d'une densité moyenne de 2,5, produits par la perforation mécanique dans la galerie principale et la galerie parallèle ainsi que par la perforation à main pour la mise au profil définitif de la galerie principale :

Poids correspondant des déblais.	1250	tonnes
Transport de 1500 hommes	110	„
Transport d'outils, de perforatrices, etc. . .	20	„
Total	1380	„

Ce transport doit être effectué en 24 heures. Admettons 20 voyages. Cette hypothèse laisse place aux besoins imprévus, car, à la vitesse moyenne de 20 km. à l'heure, la durée du trajet maximum, 10 km., n'est que d'une demi-heure. La durée des 20 voyages n'exige donc que 10 heures par 24 heures de service.

A chaque voyage le train emportera :

Une charge de	69	tonnes
Le poids des wagonets	33	„
Celui de la locomotive électrique	25	„
Total	127	„

Employons la formule de traction de Wyndham et Harding.

Soit V, vitesse du train, 30 km. à l'heure ;

P, le poids du train en tonnes, 127 ;

N, la surface transversale du train, 4 m^2 ;

T, la résistance du train par tonne.

Nous traiterons la locomotive comme le reste du train, car, chaque essieu étant moteur, on pourra se passer de bielles d'accouplement. Par l'application de la formule

$$T = 2{,}72 + 0{,}094\ V + 0{,}00484\ \frac{NV^2}{P},$$

on trouve, $T = 5{,}67$ kg.

Or la pente du côté sud est de $0^m{,}007$ par mètre. Donc le train serait sensiblement automoteur, ou n'exigerait qu'un léger effort.

2° *Voyage de l'entrée sud à la station du tunnel.* — Nous aurons à transporter environ 100 m³ de matériaux d'une densité moyenne de 2,5.

Le poids correspondant est de	250	tonnes
Transport de 1500 hommes	110	„
Transport d'outils, de perforatrices, etc. . . .	20	„
Total	380	„

Nous admettons également 20 voyages en 24 heures. A chaque voyage le train emportera une charge de . . . . 19 tonnes

Poids des wagonets	33	„
Poids de la locomotive électrique	25	„
Total	77	„

Reprenons la formule de Wyndham et Harding ; il suffira d'ajouter 7 kg. par tonne pour la rampe, ce qui donne

$$T = 5{,}76 + 7 = 12{,}76 \text{ kg.}$$

L'effort total à développer par le moteur sera de

$$12{,}76 \times 77 = 982{,}52 \text{ kg.}$$

L'effort au crochet sera de $12{,}76 \times 52 = 670{,}52$ kg.

La puissance du moteur sera de

$$\frac{982{,}52 \times 30\,000}{3600 \times 75} = 109{,}15 \text{ chevaux.}$$

L'adhérence de la locomotive électrique est suffisante, car, même en admettant dans les cas défavorables un coefficient de 1/13, on obtient encore

$$\frac{25\,000}{13} = 1920 \text{ kg.}$$

Telle est donc la puissance nécessaire sur l'arbre des moteurs de la locomotive. Supposons un rendement total de 0,5, ce qui n'a rien d'exagéré, eu égard aux progrès réalisés par l'industrie électrique. Ce rendement comprend : les rendements du moteur, des transformateurs, de la ligne et des génératrices. La puissance nécessaire sur l'arbre des génératrices du côté sud sera donc de

$$\frac{109{,}15}{0{,}5} = 218{,}3 \text{ chevaux.}$$

3° *Voyage de la station du tunnel à l'entrée nord.* — Admettons les mêmes caractéristiques qu'au 1°, sauf pour la pente qui est ici de $0^m{,}002$ par mètre ; on trouve

$$T = 5,67 - 2 = 3,67 \text{ kg. par tonne.}$$

Pour le train de 127 tonnes :

$$T = 3,67 \times 127 = 466 \text{ kg.}$$

La puissance nécessaire est de

$$\frac{466 \times 30\,000}{3600 \times 75}, \text{ soit } 52 \text{ chevaux.}$$

4° *Voyage de l'entrée nord à la station du tunnel.* — Nous supposons les données du 2°, sauf pour la rampe qui est ici de $0^m,002$ par mètre; on trouve

$$T = 5,69 + 2 = 7,69 \text{ kg. par tonne.}$$

Pour le train de 77 tonnes :

$$T = 7,69 \times 77 = 592,13 \text{ kg.}$$

La puissance correspondante est de

$$\frac{592,13 \times 30\,000}{3600 \times 75}, \text{ soit } 65,8 \text{ chevaux.}$$

Ces trains 3° et 4° devant rouler simultanément, il faudra $52 + 65,8$, soit environ 118 chevaux. Pour un rendement total de 0,5 la puissance nécessaire sur l'arbre des génératrices de la station centrale de l'entrée nord est de $\frac{117}{0,5} = 234$ chevaux.

Quant à l'adhérence, on voit facilement qu'elle est assurée.

Un point important à noter, c'est que les compresseurs alimentant les locomotives à air comprimé, dont le service est très restreint, absorbent près de 200 chevaux. D'après les conditions du problème, le rendement de la traction à air comprimé ne dépasse pas 0,2, alors que celui de la traction à l'électricité peut dépasser facilement 0,5. Ainsi la puissance absorbée par les génératrices électriques n'eût été que de 80 chevaux et l'économie de 120 chevaux.

Le service complet de la traction électrique absorberait donc $250 + 80 = 330$ chevaux, et la puissance supplémentaire serait de $330 - 200 = 130$ chevaux.

Cette puissance n'exigerait qu'un accroissement de 6 % de la puissance existant actuellement sur l'arbre des turbines du côté nord et de 9 % du côté sud.

On objectera peut-être que la marche intermittente des trains est un obstacle à l'établissement de la traction électrique ; car on ne peut songer à recourir aux batteries-tampons qui sont

d'une installation dispendieuse. Mais en combinant les services de la traction et de la ventilation, qui exigent sensiblement la même puissance, on trouverait déjà une solution pratique de la difficulté.

On objectera aussi que les frais d'installation de la traction électrique sont trop onéreux pour des travaux temporaires comme ceux du percement d'un tunnel. Mais ces installations peuvent se faire définitivement et avec tout le soin désirable, d'accord avec les chemins de fer et dans le but d'assurer le service de la traction lors de l'exploitation de la ligne. De fait, nous l'avons dit plus haut, le gouvernement suisse a étudié pour le Simplon un projet de traction électrique dont la réalisation eût été, en partie, facilitée par l'existence d'une installation électrique. Nous avons vu que la puissance disponible sur l'arbre des turbines est de 2200 chevaux à l'entrée nord et 1900 chevaux à l'entrée sud, soit un total de 4100 chevaux. Or la ventilation et l'éclairage du tunnel absorberont 500 chevaux. Il reste donc 3600 chevaux.

D'autre part, d'après les calculs établis par l'administration des chemins de fer fédéraux suisses, un train de voyageurs de 300 tonnes, la locomotive non remorquée, en marchant à la vitesse de 75 kilomètres à l'heure, absorbe une puissance de 2000 chevaux. Comme la circulation des trains de voyageurs et de marchandises sera telle que deux trains fonctionneront simultanément dans le tunnel, il faut au moins 4000 chevaux. Le déficit n'est donc pas considérable, et il n'y a aucune difficulté à se procurer la puissance supplémentaire.

Nous avons dit précédemment que l'emploi du combustible pour la traction pendant les travaux avait exigé une dépense considérable. Il serait intéressant de rechercher la dépense en combustible nécessitée par les locomotives à vapeur pour effectuer le travail mécanique que nous avons admis, dans nos calculs, à propos de la traction électrique. Ce travail équivaut par jour à $(217 + 234) \times 10$, soit environ 4500 chevaux-heure, ce qui correspond à une consommation de charbon de $4500 \times 6 = 27$ tonnes, et, au prix de 50 francs la tonne, à une dépense de 1350 francs. La durée des travaux étant de 6 ans et l'avancement progressif, on peut admettre une moyenne arithmétique pour le service du roulage ; de la sorte la dépense totale en combustible monte à $\frac{1350 \times 360 \times 6}{2}$, c'est-à-dire, à environ un milion et demi de francs. L'excès sur la somme réellement dépensée résulte des coefficients de sécurité introduits dans nos calculs.

CONDITIONS ET AVANTAGES DE LA PERFORATION ÉLECTRIQUE

Quant au problème de la perforation mécanique à l'électricité, nous admettons que, dans l'état actuel de l'industrie électrique, les perforatrices hydrauliques ont encore l'avantage sur les perforatrices à l'électricité lorsqu'il s'agit de roches de dureté variable comme celles du massif du Simplon. Cependant la combinaison d'un transport de force électrique et de la perforation hydraulique ou à air comprimé permettrait d'obtenir un rendement plus favorable. Il suffirait d'installer un chariot sur rails portant un compresseur mis en mouvement par un moteur électrique, comme cela se pratique aux mines de Bielschowitz dans la Silésie orientale.

En outre, l'emploi, pour le percement des galeries de faîte, de petites perforatrices eût réalisé une économie de temps et de main-d'œuvre sur la perforation à la main.

Cet ensemble de services mus par l'électricité permettrait l'installation d'une centrale débitant le courant sans perturbation sensible, grâce à une répartition bien comprise du travail, et constituerait, croyons-nous, un progrès notable dans des travaux analogues s'effectuant dans les conditions comparables à celles du percement du Simplon.

G. DE F.

VARIÉTÉS

I

UN NOUVEAU LIVRE SUR LA BALISTIQUE INTÉRIEURE (1)

Bien que la Science ne doive point connaître de frontières politiques, on éprouve cependant un plaisir particulier à constater et à montrer les progrès dus aux savants de son pays. Il y a trois mois, je signalais aux lecteurs de la Revue l'œuvre du major du génie Degnise, professeur de fortification à l'École d'application de l'artillerie et du génie, à Bruxelles; aujourd'hui je tiens à leur exposer les mérites que le capitaine commandant Haesen, professeur d'artillerie au même établissement, s'est acquis dans une matière récemment encore imprégnée d'empirisme et de confusion, la *Balistique intérieure*.

La *Balistique intérieure* est une partie d'une science plus générale, la *Balistique*, qui pendant très longtemps s'est bornée à l'étude des mouvements des corps projetés dans l'espace au moyen de forces quelconques. Cette science, intimement liée à l'art de la guerre, remonte — du moins on peut le croire — à l'invention des balistes attribuée tantôt aux Phéniciens, tantôt à Archimède, l'illustre défenseur de Syracuse. Les balistes lançaient des pierres, des masses métalliques, des boulets brûlants, des matières inflammables, voire, à l'effet d'engendrer des épidémies dans les villes assiégées, des animaux putréfiés.

(1) *Cours de Balistique intérieure*; par Edm. Haesen, capitaine commandant d'artillerie, ingénieur électricien, professeur à l'École d'application de l'artillerie et du génie. Un vol. in-8o de 256 pages. — Bruxelles, Castaigne, 1904.

C'est à Nicolas Tartaglia que revient l'honneur (1537) d'avoir prouvé qu'un projectile décrit dans tous les cas une courbe continue ; cent ans plus tard (1638), Galilée démontre que la pesanteur agit sur le projectile en mouvement de la même manière que s'il était au repos ; Newton, le premier (1723), tient compte de la résistance de l'air. En 1742, le savant mathématicien anglais Robins réussit à l'aide du *pendule balistique*, appareil qu'il avait inventé, à mesurer la vitesse des balles du fusil. La *Balistique expérimentale* était créée et on ne devait cesser dans la suite d'y avoir constamment recours, soit pour préparer les voies à la théorie, soit pour contrôler ou étendre les conclusions de la théorie elle-même.

Pendant les XVIIe et XVIIIe siècles, les physiciens, les géomètres et les mathématiciens se livrèrent seuls à l'étude de la *Balistique;* les techniciens ne l'abordèrent qu'au XIXe siècle et ne parvinrent à donner une orientation pratique à leurs travaux qu'aux environs de 1840. L'établissement des lois du mouvement du projectile dans l'air exigeait la connaissance de sa vitesse initiale à la sortie de la bouche à feu ; les artilleurs furent amenés à rechercher l'influence de cette vitesse sur la précision du tir et sur la portée, et par un chemin indirect ils se trouvèrent conduits devant des problèmes nouveaux, ceux de la combustion de la charge, du mouvement du projectile à l'intérieur de l'arme et de la détermination des pressions produites par la détente des gaz de la poudre. Ainsi naquit la *Balistique intérieure* dont l'appellation est opposée à celle de la *Balistique extérieure*, qui s'en tient à la recherche des lois suivant lesquelles se meuvent, après la sortie de l'âme, les projectiles soumis à l'action de la pesanteur et de la résistance de l'air. Il existe une troisième espèce de Balistique, la *Balistique de pénétration*, consacrée à l'étude des mouvements des projectiles dans des milieux autres que l'air, sol, terrassements, maçonneries, etc..., et qui, jusqu'à présent, n'a été que purement expérimentale.

La *Balistique intérieure* n'a pas de lointaines origines, et, si le général français Piobert, en 1839, entreprit scientifiquement l'examen de la combustion des grains de la poudre noire, ce n'est pas de lui qu'il faut faire dater la constitution d'un ensemble doctrinal digne du nom de *science*. Bien que la *Balistique intérieure* soit des plus nécessaires à l'artilleur et constitue, peut-on dire, la base de son art, elle est restée longtemps en gestation et aujourd'hui elle n'est encore l'apanage que de quelques-uns.

L'explication : sa nature complexe, ingrate et subtile. Il s'agit de deux phénomènes simultanés dont les relations sont essentiellement instables et qu'accompagnent des actions diverses, mécaniques et calorifiques. D'une part, la tension des gaz augmente, à cause de leur développement, d'autre part, elle diminue à cause du déplacement du projectile et c'est précisément le rapport de l'augmentation et de la diminution de cette tension qui échappe à toute mesure rigoureuse. De ce rapport, dont la connaissance serait capitale, dépendent et les lois du mouvement du projectile dans l'âme et les pressions développées pendant ce mouvement et, pour tout résumer, cette vitesse initiale de la balle, de l'obus ou du shrapnel, dont le calcul est comme l'aboutissant de toutes les formules de la *Balistique intérieure*.

La poudre noire, d'abord à l'état de poussière, ensuite sous forme fragmentaire ou grenée — forme adoptée afin de la protéger contre l'humidité et de la rendre plus maniable, voire plus puissante — fut pendant des siècles le seul explosif en usage dans les armées. Avant l'invention des canons rayés, on n'employait généralement pour les bouches à feu qu'une seule espèce de poudre à grains irréguliers de $1^{mm},5$ à $2^{mm},5$ et de faible densité réelle.

Lorsque l'artillerie rayée fut mise en service, on ne tarda pas à s'apercevoir que les gaz exerçaient leur pression maximum sur le culot du projectile avant que celui-ci quittât la pièce et que la vitesse initiale était loin de correspondre à cette pression. La poudre était trop vive et on y remédia en augmentant sa densité réelle et la grosseur de ses grains.

Pour percer les cuirassements, il fallut des canons de fort calibre pour lesquels la poudre modifiée fut encore reconnue trop vive : on en changea le dosage, on choisit une autre espèce de charbon de bois et on substitua aux grains irréguliers des grains de forme prismatique. De cette façon on fabriqua, en Allemagne, une poudre dite *prismatique brune*, dont l'emploi, à cause du développement relativement lent de la pression des gaz, requérait l'augmentation du poids de la charge et celle de la longueur du canon. A cela il y avait des limites, car l'allongement de la bouche à feu entraînait de grandes difficultés d'installation et le renforcement des charges fatiguait bientôt l'affût. La poudre ordinaire composée de charbon de bois, de soufre et de salpêtre, quelles que fussent ses différentes modifications, ne donnait pas la solution du problème ; on la chercha ailleurs et on la trouva dans l'emploi de poudres fortes, lentes, non-encras-

santes, connues sous le nom générique de *poudres sans fumée* et dont presque toutes les variétés actuelles dérivent soit de la poudre Vieille, à base de nitro-cellulose, découverte en 1886, soit de la poudre Nobel, à base de nitro-cellulose et de nitro-glycérine, inventée en 1888.

Jusqu'au moment où, dans le but d'accroître leur efficacité, on réduisit le calibre des armes à feu portatives, on n'y fit usage que d'une poudre noire à grains irréguliers de 1^{mm} à $1^{mm},5$. Cette poudre devint incapable, dans les fusils et carabines à répétition, de produire avec une charge faible une vitesse initiale suffisante. On recourut aux poudres sans fumée et avec une charge moindre et une balle plus légère que par le passé on augmenta environ de moitié la vitesse initiale (1).

Au lieu d'un seul explosif, la poudre noire, on en emploie aujourd'hui un très grand nombre et, ainsi, la matière de la *Balistique intérieure* a été en quelque sorte étendue et compliquée. Il convenait de posséder des formules générales, applicables à tous les cas, formules que ne pouvaient fournir des procédés expérimentaux et qui devaient être basées sur des hypothèses scientifiques. En fait, ce n'est que depuis une quinzaine d'années, c'est-à-dire depuis l'emploi des poudres sans fumée, que la *Balistique intérieure* a le droit de se réclamer de la science pure ; auparavant elle avait végété dans une longue période expérimentale d'où elle n'était sortie que pour vivre sous le régime de l'empirisme.

Pendant la période expérimentale on ne se rendait compte de la puissance des armes que par des mesures dites *balistiques*. La même poudre étant alors — comme je l'ai signalé plus haut — utilisée dans toutes les bouches à feu, il ne fallait, pensait-on, que constater l'identité des échantillons avec la poudre type ; on le faisait à l'aide du *mortier-éprouvette*, appareil qui lançait un projectile dont la portée servait d'élément de comparaison. Mais deux poudres dont les effets sont les mêmes dans un mortier, se comportent autrement dans un obusier ou dans un canon ; le calibre aussi a son influence. Le procédé était imparfait, d'autant plus que par suite d'une défectuosité du *mortier-éprouvette*, sa

(1)	POIDS DE LA CHARGE (grammes)	POIDS DE LA BALLE (grammes)	VITESSE INITIALE (à la seconde)
Fusil Albini	5,1 (poudre noire)	25	421 mètres
Fusil Mauser	2,4 (poudre sans fumée)	14,1	600 „

trop faible longueur, les gaz de la poudre ne s'y détendaient que partiellement. Les déductions tirées des expériences prêtaient donc doublement à caution, à telle enseigne que l'on risquait de classer les poudres autrement que ne l'aurait déterminé le tir comparatif des armes auxquelles elles étaient destinées. Ce fut la première phase de la période expérimentale.

La seconde phase de cette période est marquée par l'invention de *chronographes* mesurant la vitesse du projectile à une faible distance de l'arme. Cette vitesse servit dès lors d'élément de comparaison et l'on s'empressa d'abandonner la méthode basée sur l'emploi du *mortier-éprouvette*, méthode incertaine, car l'air exerçait, sur la portée, une action perturbatrice impossible à apprécier à sa juste valeur.

Enfin la *Balistique expérimentale* connut une troisième phase. On avait appris que des poudres différentes pouvaient communiquer à un même projectile des vitesses identiques pourvu que leurs gaz ne se détendissent pas identiquement ; l'on chercha et l'on parvint à fabriquer des appareils, *crushers*, susceptibles de mesurer la pression maximum des gaz. Par ce fait l'on posséda deux éléments de comparaison : la pression maximum des gaz et la vitesse du projectile à un endroit déterminé de sa trajectoire.

Mais la *Balistique expérimentale* ne distinguait nullement les causes des phénomènes qu'elle enregistrait, causes multiples et dissemblables, permanentes ou accidentelles, constantes ou variables, les unes inhérentes à l'arme, les autres à la poudre. Pour ne citer que certaines d'entre elles, tout explosif possède des caractéristiques, véritables paramètres, qui sont : la densité gravimétrique, la force spécifique, le covolume, la vitesse spécifique de combustion, l'énergie spécifique, la chaleur de combustion et la température absolue de combustion. Faute de discerner au moyen des appareils balistiques, sinon toutes, ni même la plupart, mais du moins les principales influences exercées sur les phénomènes observés, on ne pouvait comparer scientifiquement les résultats numériques fournis par l'expérience directe. Pour tenir compte dans ces résultats des propriétés de l'arme et de celles de la poudre, on imagina des formules empiriques et la *Balistique intérieure* entra dans une seconde période.

Ces formules, par essence, n'étaient point susceptibles d'une application générale ; elles n'étaient utilisables que dans des conditions nettement définies et n'interprétaient que des faits connus. Que des circonstances nouvelles ou jusqu'alors ignorées fussent mises en lumière, il fallait une dose supplémentaire

d'empirisme et les formules succédaient aux formules portant dans leur sein, pour ainsi parler, le germe d'un inévitable discrédit. Seule la science pure était capable de tout sauver; mais lorsque, résolument, on s'adressa à elle, on se heurta à de grandes difficultés et dans la troisième période de son évolution la *Balistique intérieure* fut longtemps avant de connaître des fondements stables et d'embrasser tout son objet.

M. de Saint-Robert en partant de l'équation fondamentale de la thermodynamique essaya vainement d'assembler dans une équation finale tous les éléments du problème. MM. Noble et Abel se contentèrent de baser leurs calculs sur une proportionnalité des pressions des gaz et des volumes occupés par ceux-ci et admirent que ces pressions s'exerçaient en vase clos suivant une loi d'expansion adiabatique. Mais si MM. Noble et Abel ne sont pas parvenus à une solution rationnelle, ils ont puissamment contribué aux progrès de la *Balistique intérieure* par leurs remarquables recherches (1) sur la combustion de la poudre noire qui leur ont permis de conclure à l'hypothèse suivante : Au moment de la combustion de la charge, les résidus de la poudre noire étant à l'état pâteux et occupant un volume équivalent à celui de la charge, la pression peut être calculée d'après la loi de Mariotte en déduisant du volume de l'enveloppe celui des résidus.

C'est M. Sarrau (2) qui, le premier, approcha d'une formule complète en dressant, pour un projectile type de 11 kilogrammes, un calibre de 1 décimètre et un grain de forme déterminée, des tables donnant la plus grande vitesse initiale et la densité de chargement en fonction de la pression maximum, de la longueur du parcours du projectile dans l'âme et du poids de la charge. Ces tables fournissent indirectement la solution des problèmes relatifs à tout autre calibre et à tout autre projectile. Malheureusement M. Sarrau n'a pu déduire d'une équation différentielle compliquée la pression des gaz et la vitesse du projectile en un point quelconque de l'âme, et il a dû retourner à l'empirisme

(1) Voir la traduction française du mémoire de MM. Noble et Abel dans le MÉMORIAL DE L'ARTILLERIE DE LA MARINE, 1876, 3me livraison.

(2) *Recherches théoriques sur les effets de la poudre et des substances explosives.* Deux vol., Paris, Tanera, 1874-1875. — *Nouvelles recherches.* Un vol., Paris, Tanera, 1876. — *Formules pratiques des vitesses et des pressions dans les armes.* Deux vol., Paris, Tanera, 1877-1878, par M. Sarrau, professeur à l'École des Poudres et Salpêtres.

pour la détermination de presque toutes les inconnues du problème.

Le chef d'escadron d'artillerie Moisson (1) rechercha pour chaque point de l'âme la pression des gaz sur le culot du projectile et la vitesse de celui-ci, en s'appuyant sur les travaux de MM. Noble et Abel et en admettant les trois hypothèses suivantes : la détente des gaz s'effectue selon la loi de Mariotte, en déduisant du volume intérieur de l'arme à feu le volume des résidus de la poudre ; la vitesse de combustion des grains de la poudre est proportionnelle à la pression des gaz ; les grains se comburent par couches géométriquement semblables. Sans doute le chef d'escadron d'artillerie Moisson a atteint le but qu'il s'était proposé et sa *Pyrodynamique* est un livre des plus remarquables, mais on ne peut considérer les grains de la poudre comme gardant invariablement leurs formes primitives depuis le commencement jusqu'à la fin de la combustion ; cette hypothèse introduit dans les formules une erreur initiale qui empêche qu'elles ne traduisent toutes les circonstances du mouvement du projectile dans l'âme.

Tous ceux que je viens de citer ne se sont occupés que de la poudre noire et il faut arriver au lieutenant colonel Mata (2) pour rencontrer des théories qui s'appliquent à toutes les poudres, y compris les poudres sans fumée. Le lieutenant colonel Mata fait siennes les deux premières hypothèses du chef d'escadron d'artillerie Moisson, mais il substitue à l'hypothèse de la combustion des grains par couches géométriquement semblables celle de la combustion par surfaces parallèles, épousant ainsi l'opinion que, il y a plus de soixante ans, le général Piobert s'était formée à la suite de l'observation de prismes de poudre noire brûlant à l'air libre et que des expériences ultérieures, effectuées au moyen d'appareils perfectionnés sur des charges grenées, comburées sous de hautes pressions, ont confirmée. " En résumé, si l'on groupe tous les résultats de l'observation et si l'on cherche à les interpréter par une loi, on est amené à

(1) *Pyrodynamique. Théorie des explosions dans les canons et les torpilles*, par A. Moisson, chef d'escadron d'artillerie de la marine, commandant de l'École de pyrotechnie maritime. Un vol. de 319 pages. Paris, Baudoin et Cie, 1887.

(2) *Traité de Balistique intérieure*, par D. Onofre Mata y Maneja, lieutenant colonel commandant d'artillerie, traduit de l'espagnol par le lieutenant colonel Delmotte. Un vol. autographié de 287 pages. A. Mist, Liége, rue Fusch, 1899.

dire que la combustion se propage par surfaces parallèles, dans toutes les circonstances où il n'y a pas lieu de craindre la désagrégation de la matière explosive par l'action des pressions, ce qui advient quand la charge se présente en une ou plusieurs masses compactes (1). „ En *Balistique intérieure*, l'hypothèse sur le mode de combustion des explosifs est capitale et la forme des grains influe sur la valeur des pressions des gaz.

Pendant plus de quinze ans le traité du lieutenant colonel Mata est demeuré l'ouvrage le plus complet qui existât sur la *Balistique intérieure* et n'a cessé de jouir d'une autorité d'ailleurs bien justifiée. Mais à le lire attentivement, on constate que pas plus que de nombreux écrits antérieurs et même postérieurs, il ne procède de quelque principe directeur qui le domine tout entier et lui donne une pleine homogénéité scientifique. Celle-ci avait manqué à la *Balistique intérieure* jusqu'à l'apparition du *Cours* du capitaine commandant Haesen et ce n'est pas un mince mérite pour celui-ci de la lui avoir procurée en s'inspirant constamment de cette idée féconde, à savoir que tout explosif est un accumulateur et un transformateur d'énergie. Voici un exemple de cette heureuse pratique.

“ Nous avons dit — ainsi s'exprime le capitaine commandant Haesen — qu'au point de vue balistique, l'arme à feu est une machine destinée à produire un certain effet utile, représenté par la force vive initiale de translation du projectile.

„ Si on compare cette force vive à l'énergie totale contenue dans le moteur, c'est-à-dire, dans la poudre, on obtient un rapport, nommé rendement de l'arme à feu.

„ Le calcul montre que, quelles que soient l'arme et la poudre, ce rendement varie, actuellement, entre 0,17 et 0,35 ; il est donc très faible comparativement au rendement des machines industrielles. Mais le canon présente l'avantage de réaliser son effet utile en un temps extrêmement court, il est incomparable à ce point de vue spécial (2). „

Le *Cours* du capitaine commandant Haesen embrasse une multitude d'objets que je me bornerai à indiquer en résumant la table des matières.

Préliminaires. — Définitions. Objets de la Balistique intérieure. De l'organisation des explosifs.

(1) *Cours de Balistique intérieure*, p. 24.
(2) *Ibid.*, p. 147.

Chapitre I. *Les caractéristiques des explosifs.* — Le covolume de l'explosif. De l'énergie d'un explosif. Définitions et principes relatifs à la théorie des gaz. De l'inflammation de la charge. De la combustion de la charge. Pressions des gaz pendant la détente. De la vivacité d'un explosif. Marche à suivre pour déterminer expérimentalement les caractéristiques des explosifs. Applications numériques.

Chapitre II. *Effets des explosifs sur les parois des projectiles.* — Relation entre la pression et le temps, la charge se combinant dans une capacité fermée. Mesure des effets. Échelles des forces et des vivacités absolues.

Chapitre III. *Du choix des explosifs de rupture.* — Inconvénients que présente la poudre noire, au point de vue du chargement des projectiles. Emploi des explosifs de grande force spécifique. Marche à suivre dans les essais de réception des explosifs de rupture.

Chapitre IV. *Effets des poudres dans les armes à feu.* — Conditions dans lesquelles doit s'opérer la combustion des poudres. Loi fondamentale de la détente des gaz dans une arme à feu. Lois du mouvement du projectile pendant la combustion de la charge. Lois du mouvement du projectile après la combustion de la charge. Représentation graphique des lois du mouvement d'un projectile dans une arme à feu déterminée. Théorie de la similitude. Théorie du recul des armes à feu. Théorie de la rayure. Applications des lois du mouvement du projectile dans l'âme.

Chapitre V. *Du choix des poudres de tir.* — Du rendement de l'arme à feu. Des moyens à mettre en œuvre pour obtenir le plus grand effet utile des poudres, lorsque l'arme à feu et le projectile sont déterminés. Influence des éléments de l'arme à feu et du projectile sur l'effet utile. Les améliorations des poudres de tir. Épreuves de réception des poudres de tir.

Chapitre VI. *Appareils balistiques.* — Mesure de la vitesse d'un projectile. Mesure de la vitesse de recul d'une arme à feu. Mesure de la pression des gaz.

Tables et annexes.

La complexité de la *Balistique intérieure* ressort à l'évidence de la lecture de ce résumé ; pour en donner une preuve d'ordre différent, je transcris ci-dessous la formule de la vitesse ini-

tiale (1) en y joignant le tableau des paramètres et des variables qu'elle contient.

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1-\rho}{n-1} f Q \left\{ 1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda - X} \right)^{n-1} - A \left[\frac{2M(1) - 1}{2} \right] \right\}$$

A = constante
E = équivalent mécanique de la chaleur
$K = \frac{R}{c_v E}$
$M(1) = \frac{\left(1 - \frac{\lambda}{\lambda + X}\right)^{n-1}}{A}$
Q = poids de la charge
R = constante
S = surface du culot du projectile
V_0 = volume de la chambre de poudre
X = distance de la position initiale du projectile à la tranche de la bouche
c_v = chaleur spécifique à volume constant
f = force spécifique de l'explosif
m = masse du projectile
$n = K + 1$
v_0 = vitesse initiale
η = covolume de l'explosif
$\lambda = \frac{V_0 - \eta Q}{S}$
ρ = constante.

Ce que l'on trouve d'entièrement nouveau dans l'ouvrage du capitaine commandant Haesen, c'est la théorie de l'inflammation des charges, celle de la pression des gaz pendant leur détente, celle, enfin, des effets des explosifs sur les parois des projectiles. Il faut encore signaler comme possédant un caractère original et renfermant des aperçus inédits et des déductions importantes, les théories du recul, de la rayure et de la similitude. Celle-ci, en *Balistique intérieure* est l'une des plus fécondes. Voici ce que l'on entend par *similitude*.

" Deux armes sont dites *semblables*, lorsque leurs tracés intérieurs forment des figures géométriquement semblables.

„ Pour qu'elles soient semblablement chargées il faut :

1° Que les poids des projectiles et des charges soient proportionnels aux cubes des calibres ;

2° Que les grains des poudres tirées soient géométriquement semblables et de même composition chimique ;

3° Que les dimensions homologues de ces grains soient dans le même rapport que les calibres.

„ La similitude est *complète*, lorsque toutes les conditions

(1) *Cours de Balistique intérieure*, p. 95.

énoncées ci-dessus sont satisfaites; elle est *incomplète*, si certaines de ces conditions seulement sont remplies (1). „

Pour montrer quelles ressources procure la théorie de la similitude, il me suffira d'énoncer le problème suivant dont elle permet la solution.

“ On possède une arme à feu type de calibre C_1, pour laquelle on a établi les diagrammes des vitesses, des pressions et des durées, en fonction des parcours du projectile.

„ On demande de déterminer, par la théorie de la similitude complète : le calibre, les éléments du tracé intérieur, les conditions de chargement, ainsi que les diagrammes des vitesses, des pressions et des durées, pour une arme en projet, dont l'effet utile doit être *r* fois plus grand que celui de l'arme type (2). „

L'ouvrage du capitaine commandant Haesen est clairement écrit, logiquement ordonné et, qualité assez rare pour qu'il convienne d'y insister, puisque, aussi bien, il s'agit d'un cours rédigé par un professeur pour ses élèves, son *Cours* contient tout ce qu'il faut et rien de superflu. C'est un excellent traité didactique.

Je viens d'esquisser l'histoire de la *Balistique intérieure*, c'est celle de la pénétration réciproque et progressive de la pratique et de la théorie, c'est celle de toute science appliquée qui produit tous ses fruits ou promet de les produire. Il en existe d'autres exemples importants et, parmi eux, celui de la *Résistance des matériaux* que j'ai envie de montrer quelque jour.

Capitaine commandant C. Beaujean.

II

LES CULUAS OU CROISIERS DE L'AMÉRIQUE PRÉCOLOMBIENNE

En 1875, lors de la première session du Congrès international des Américanistes, j'ai émis l'opinion que les baptiseurs blancs de la Grande-Irlande, située dans le bassin du golfe et du fleuve Saint-Laurent, étaient des Papas ou Culdees, frères de ceux des Orcades, des Shetlands, des Færœs et de l'Islande ; mais, faute

(1) *Cours de Balistique intérieure*, par Edmond Haesen, p. 104.
(2) *Ibid.*, p. 108.

de documents européens sur la branche transatlantique de la mystérieuse congrégation Columbite, cette assertion ne pouvait, malgré toute vraisemblance, prendre rang parmi les vérités démontrées. C'est pourquoi, frappé, comme les premiers *conquistadors* et missionnaires espagnols, de l'identité des noms donnés aux prêtres du Mexique et à ceux des îles nordatlantiques, j'ai cherché de nouvelles lumières dans les documents hispano-mexicains, traduits ou extraits des antiques iconophones (ou sons représentés par des images). Il y en a de fort nombreuses et, dans une quarantaine de mémoires, je les ai signalées au fur et à mesure qu'elles m'éclairaient ; mais au lieu de les laisser éparpillées, il faut pour les rendre éclatantes les faire converger sur un même sujet, en groupant les anciennes et nouvelles preuves relatives à quelques points discutables.

Voici le très bref résumé d'un mémoire ayant pour but d'établir qu'il y avait certainement des Papas dans la Grande-Irlande, puisqu'elle en envoya dans les contrées méridionale et isthmique de l'Amérique du Nord. Dans une étude sur *La Grande-Irlande* (Extrait du JOURNAL DES AMÉRICANISTES, de Paris, Nouv. série t. I, n° 2, 1904), la situation de ce pays a été déterminée avec une assez grande précision, d'après le nombre des jours de navigation entre elle et des contrées connues, ainsi qu'au moyen des données géographiques et climatologiques fournies par quatre documents islandais. On savait déjà par les mêmes sources qu'il y avait là, peu avant et après l'an 1000, des baptiseurs faisant des processions chantées, en costume blanc, comme chez les Columbites ; parlant comme eux le gaélique, habitant des maisons, à la différence des Esquimaux du voisinage qui s'abritaient dans des grottes ; possédant des chevaux, comme il n'y en avait pas alors dans les autres parties du nouveau monde ; évitant soigneusement, comme les Papas nordatlantiques, de frayer avec les étrangers et surtout avec les infidèles ; retenant en captivité les naufragés jetés sur leurs rivages, mais laissant une grande part de la puissance publique à ceux qui étaient issus ou alliés de chefs Gall-Gaëls (Celto-Scandinaves). Ces traits caractéristiques nous autorisaient à les regarder comme des chrétiens, civilisés à l'européenne et congénères des Irlandais dont le nom avait été donné à leur pays, mais ce n'était pas la preuve évidente que ce fussent des Papas et, si l'on n'avait pu grouper autour de ce nom beaucoup d'autres notions confirmatives, il eût été impossible de les rattacher à leurs homonymes d'Europe et du Mexique. A défaut de renseignements topiques pour suppléer au silence des *sagas* et au

manque de précision des légendes gaéliques, il eût fallu laisser s'éteindre obscurément sur un littoral sans histoire les évangélisateurs qui furent les pionniers de la civilisation européenne dans le nouveau monde.

Ceux des peuples du Mexique, dont on connaît les traditions sur l'origine de leurs ancêtres, s'accordaient à affirmer que la culture, l'industrie, les arts, quelques institutions, diverses coutumes, certaines croyances, des rites et des principes humanitaires furent introduits dans leur pays par des immigrants venus du Nord à partir du VIIIe siècle de notre ère, issus d'un même ancêtre, Mixcoatl *le Blanc*, et sortis à diverses époques d'un berceau commun, appelé de trois noms : *Culuacan*, *Aztlan* et *Chicomoztoc*. Ces récits furent recueillis par les premiers écrivains hispano-mexicains dans le second tiers du XVIe siècle, c'est-à-dire en un temps où l'on découvrait au nord de la Nouvelle-Espagne des peuplades qui, sans avoir fait partie de la fédération Culua, parlaient néanmoins le nahua et dont plusieurs étaient établies soit à Culiacan, soit à Aztatlan, dans la Nouvelle-Galice, tandis que, sauf la ligne des côtes, le nord-ouest des États-Unis était remplacé par une grande mer ou restait vide de toute légende sauf celle de *regio incognita*. Dans l'ignorance où l'on était des territoires compris entre 40° et 50° de lat. N., on fut naturellement porté à supposer d'abord que le point de départ des colonisateurs était situé vers l'entrée du golfe de Californie, puis, après de nouvelles découvertes, dans les *Pueblos* ou bourgades du Nouveau-Mexique; et finalement, à 600 lieues au nord-ouest de Mexico, dans un fabuleux royaume de *Tolan*, dont les cartographes ne surent même jamais orthographier le nom (ils écrivaient *Tolm*). On y localisa l'Aztlan-Culuacan sur un prétendu détroit d'Anian, unissant la mer du Japon à celles du Canada ou du Labrador. Les émigrants, que l'on s'imaginait être originaires de l'Asie, auraient pu passer par là pour gagner par mer le golfe du Mexique; car on savait qu'une partie d'entre eux avaient côtoyé la *Florida* ou littoral atlantique des États-Unis. Mais comme le fameux bras de mer n'existe pas et qu'entre un Culuacan californien ou orégonais et le bassin de la mer d'Hudson ou le golfe du Saint-Laurent, la traversée latitudinale serait la plus large de l'Amérique du Nord, il n'est pas admissible que les Holmecs et les Xicalancs, ainsi que Quetzalcoatl et ses Toltecs, l'aient entreprise pour aller s'embarquer sur une rive de l'océan Atlantique. Il est plus rationnel de s'en tenir à l'assertion catégorique du dominicain Diego Duran qui écrivait

en 1581, à une date où l'on pouvait localiser le berceau des peuples Nahuas autrement que dans le vide d'une région inconnue ou d'une pleine mer : " Ces grottes [de *Chicomoztoc*] sont en *Teoculuacan* [le divin Culuacan], autrement nommé *Aztlan*, que nous savons tous être situé dans le Nord et contigu à la *Florida* „ (*Historia de las Indias de Nueva-España*, t. I, p. 8). Or les Espagnols entendaient alors par Florida tout le versant oriental des États-Unis actuels et, pour que l'Aztlan-Culuacan touchât tout à la fois à la mer et à la Florida que longèrent les émigrants, il fallait absolument qu'il correspondît aux provinces maritimes de la Puissance Canadienne.

Nous voici donc reportés à la Grande-Irlande, où il y avait des Blancs comme l'étaient Topiltzin-Quetzalcoatl, ses Toltecs et Mixcoatl le Blanc ; des Chrétiens comme devait l'être Quetzalcoatl, propagateur des doctrines chrétiennes au Mexique ; vêtu de la robe blanche des Columbites et des Papas nordatlantiques ; représenté dans les peintures iconophoniques avec des croix rouges sur son étole, crosse à la main, mitre sur la tête ; portant d'ailleurs le titre de *Papa*, puisqu'il fut à Cholula le premier pontife de ce nom ; regardé comme le fondateur de l'ordre religieux nommé d'après lui ; voué au célibat et aux mortifications ; innovateur de beaucoup de cérémonies analogues à celles de l'Église catholique ; et qui, finalement expulsé par les fanatiques partisans des sacrifices humains abolis par lui, prédit en s'en allant la venue de conquérants blancs qui soumettraient ses persécuteurs. Comme il avait débarqué à Panuco, chez les Totonacs ou Huaztecs, qu'il avait séjourné sur leurs confins, à Tullantzinco, qu'il avait envoyé des colonisateurs à Cempoallan, chez le même peuple qui qualifiait de *Papas* ses grands-prêtres, qui croyait en un Rédempteur, fils de la céleste médiatrice, qui avait une communion analogue à l'Eucharistie, qui pratiquait la charité par principe religieux, qui avait des hospices pour les infirmes et des monastères où l'on écrivait des *Annales* intitulées *Analté*, et qui connaissait, comme les riverains de l'Anahuac, une prophétie sur la future domination des Blancs, on doit croire que les Totonacs n'avaient pas emprunté ces particularités aux *Culuas* renégats du Mexique, devenus leurs mortels ennemis au temps de l'idolâtrie, mais qu'ils les avaient apportées de *Culuacan*, le berceau commun.

D'autres descendants de Mixcoatl le Blanc choisirent la voie terrestre ou occidentale pour gagner des contrées moins froides ; l'itinéraire qu'ils suivirent est connu dans ses principaux points

à partir du Nouveau-Mexique : en passant par *Cibola*, ils laissèrent chez les ancêtres des *Zuñis* le culte de la croix, le terme de *Papa* pour désigner les prêtres, et des principes de civilisation, qui différenciaient dès lors des barbares nomades du voisinage les *Pueblos* sédentaires et agriculteurs ; plus loin vers le midi, ils s'établirent à *Culuacan* (par 24° 48′ de lat. N.), dans l'*Aztatlan* (forme d'*Aztlan*) et dans d'autres localités des États actuels de Sinaloa et de Xalisco, où leurs descendants parlaient encore le nahua, comme les *Aztecs* de Mexico et du *Culuacan* de l'Anahuac, lorsque les Espagnols reconnurent chez ces peuplades passablement civilisées de remarquables vestiges d'une véritable chrétienté : il y avait là des crucifix, un tertre cruciforme, des indigènes qui avaient la tonsure coronale et que l'on qualifia, pour cette raison, de *Frailes Coronados* ; d'autres qui se rasaient le front à la manière des Columbites et relevaient sur le crâne le reste de la chevelure. Outre les traditions qu'ils avaient conservées sur les évangélisateurs et sur la future domination des Blancs, ils croyaient à un Créateur Tout-Puissant, à une céleste vierge médiatrice, à Teopiltzintli (mot à mot : le noble fils de Dieu), qui leur apparaissait sous la forme d'un enfant et les consolait dans leurs afflictions.

Ainsi, dès les premières explorations de Cortès et de ses émules, les Aztecs de la Nouvelle-Espagne et de la Nouvelle-Galice, les Totonacs et les Zuñis, quoique séparés depuis longtemps et n'ayant jamais eu en commun que des chefs issus de Mixcoatl le Blanc, avaient pourtant conservé, avec le même mot pour désigner des prêtres, beaucoup de vestiges d'une évangélisation précolombienne. La conformité de leurs réminiscences chrétiennes, malgré les différences essentielles de leurs croyances païennes, ne saurait être mieux expliquée que par leurs traditions concordantes sur Aztlan-Culuacan, berceau de leurs premiers civilisateurs. Ceux-ci ne pouvaient être que des Blancs, chrétiens et d'origine gaélique. Dès lors, il n'y pas à hésiter entre les diverses interprétations que l'on a données des noms de *Papa*, d'*Aztlan* et de *Culuacan*. Pour être figurés dans les iconophones, le premier par un homme à longue chevelure (comme en portaient en effet les *Papas* Columbites) ; l'autre par le héron blanc ou une fleur blanche (qui devaient être des emblèmes, comme chez nous les armoiries parlantes) ; le troisième par un pic surmonté d'une crosse (insigne du chef religieux des Columbites), ils n'avaient pas moins respectivement le sens de *Prêtre*, de *Pays des Blancs*, de *Pays de la Croix* (mot à mot

en nahua : *can* au lieu, *ua* qui possède, *culutl* apocopé, la *crosse* ou *croix*). Nous savons maintenant que l'Aztlan-Culuacan, unanimement désigné comme la première station des Blancs dans le nouveau monde, appartenait au bassin de l'Atlantique et était situé au nord de la Florida, c'est-à-dire dans le bassin du golfe et du fleuve Saint-Laurent; qu'il fallait le distinguer soigneusement des autres stations homonymes auxquelles les émigrants, selon une coutume générale, donnaient le nom de leur mère-patrie; qu'il correspondait pour le nom et la situation au *Hvitramannaland* (Pays des Blancs, processionnaires en costume blanc) ; que ses habitants, les *Aztecs* (Blancs) ou *Culuas* (Croisiers) avaient pour prêtres des *Papas*, puisqu'il en sortit de leur pays, et que ceux-ci, portant le même titre que les membres du clergé columbite des Iles nordatlantiques, devaient être Gaëls comme eux, d'autant plus qu'ils habitaient la Grande-Irlande. Mais quelque précieuses que soient les lueurs jetées par ces faits avérés sur les relations précolombiennes des Gaëls avec le nouveau monde, sur la situation intérieure de leur première station transatlantique, elles ne sont rien comparativement à leur grande portée en ce qui concerne l'histoire ultérieure des Papas, que l'on peut désormais suivre d'un pas sûr dans leurs établissements de la Nouvelle-Espagne, de la Nouvelle-Galice, et même de l'Amérique centrale ; de sorte que grâce aux traditions des Pueblos, des Culuas de la Nouvelle-Galice et du Mexique, des Totonacs et de leurs congénères les Mayas et les Quichés, leurs mystérieux évangélisateurs seront mieux connus au delà de l'océan Atlantique qu'ils ne l'étaient en deçà, dans leur pays d'origine, par les brèves relations des navigateurs scandinaves ou les trop vagues légendes des Irlandais.

E. Beauvois.

BIBLIOGRAPHIE

I

Théorie des Groupes finis. Éléments de la théorie des Groupes abstraits, par J. A. de Séguier, docteur ès sciences mathématiques. Un vol. in-8° de 176 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1904.

La notion de *groupe*, fondamentale aujourd'hui dans toutes les branches des mathématiques, peut être considérée *in abstracto*, indépendamment des formes concrètes, en quelque sorte, qu'elle peut revêtir : groupes de substitutions, de transformations, de mouvements,...

Cette étude, entamée par divers auteurs, avait besoin d'être coordonnée en un tout homogène suivant un plan systématique ; telle est l'œuvre qu'a entreprise et que nous livre aujourd'hui M. de Séguier. Elle témoigne non seulement d'une connaissance complète du sujet, mais encore d'une rare pénétration qui a permis à l'auteur de débrouiller maintes parties de la théorie, d'en simplifier considérablement les démonstrations, et d'y répandre une lumière qui faisait peut-être un peu défaut à certains travaux originaux par lesquels les voies ont été préparées, soit dit d'ailleurs sans porter atteinte à leur mérite tout à fait éminent.

Notons aussi le souci qu'a eu M. de Séguier, bien que les groupes finis fussent son principal objectif, de recourir à des modes de démonstration susceptibles d'une extension immédiate aux groupes infinis.

Le Chapitre I s'ouvre par les notions indispensables sur les ensembles qui résument les principes établis par G. Cantor, mais en introduisant, sur certains points, plus de précision, notamment en ce qui concerne la définition du nombre.

A propos de la définition même des groupes, l'auteur a creusé la notion des systèmes d'équations de groupes.

Dans un paragraphe spécial, dont il convient de souligner l'importance, il se livre à une analyse très fine des conséquences d'un système d'équations, qui lui a permis de démontrer que les conditions d'automorphisme, de fermeture et de permutabilité, dont la nécessité a été établie par M. Hölder pour la construction d'un groupe dont on connaît un sous-groupe invariant et le groupe quotient correspondant, sont encore suffisantes.

L'auteur fait ensuite l'application immédiate des notions précédentes aux imaginaires de Galois et aux nombres algébriques considérés comme formant des corps abstraits, et nous ne pensons pas qu'aucun ouvrage didactique contienne un exposé plus complet et plus condensé de cette théorie. Signalons, à titre de détails, la démonstration des formules de Waring pour le cas où on a affaire à des congruences au lieu d'équations.

Le Chapitre II a trait aux diviseurs, et c'est ici que s'affirme particulièrement le soin de donner à tous les théorèmes une forme les rendant utilisables dans le cas des groupes infinis. Tout cet exposé peut être considéré comme la mise au point de mémoires connus, principalement de ceux de Frobenius, d'autres encore dus à MM. Jordan, Walther Dyck, Sylow,...

A l'occasion de l'important théorème de M. Jordan sur les groupes décomposables, on rencontre, sous la plume de l'auteur, nombre de démonstrations et même de propositions nouvelles relatives à des groupes spéciaux, complétées d'ailleurs, en annexe, par une note sur les groupes g_{p^α}.

En les obtenant par des voies nouvelles, l'auteur a su aussi donner une plus large extension à des théorèmes dus à M. Maillet, et il a eu, en ce faisant, à surmonter des difficultés que seuls sont en état d'apprécier ceux qui ont abordé ce genre d'étude.

Le Chapitre III, consacré aux groupes abéliens et hamiltoniens, provient, en grande partie, de mémoires de MM. Frobenius et Stickelberger, remaniés et complétés par l'auteur qui, chemin faisant, y ajoute aussi du sien. C'est ainsi, par exemple, qu'il détermine pour la première fois le nombre des diviseurs distincts d'un groupe abélien isomorphe à l'un d'eux.

Ajoutons qu'en ce qui concerne les groupes abéliens infinis, il s'est inspiré de Weierstrass.

Au sujet des groupes hamiltoniens, il donne des démonstrations entièrement nouvelles des propositions dues à M. Dedekind.

Les groupes d'ordre p^m font l'objet du Chapitre IV. Pour les

théorèmes généraux, l'auteur a fait, à son point de vue personnel, une refonte des travaux de MM. Fite et Bagnera ; de même, pour ceux de M. Miller, en ce qui concerne quelques types de g_{p^m}. Mais sa contribution propre la plus importante se rattache à la démonstration d'un théorème obtenu très péniblement par M. Fite sur les groupes métabéliens. La fécondité de la méthode qu'il a ainsi inaugurée est affirmée par l'application qu'il en fait aux groupes d'ordre p^3, p^4 et p^5. Ce sont d'ailleurs ces principes mêmes que, dans une thèse récente, M. Potron a utilisés pour la détermination des groupes d'ordre p^6.

Le volume se termine par trois notes sur les groupes de mouvements d'après M. Jordan, sur les matrices et les systèmes linéaires, enfin sur certaines propriétés des groupes g_{p^v}.

Le livre de M. de Séguier, où l'on chercherait en vain à relever la moindre négligence, a la beauté sévère et pure d'une œuvre vraiment classique.

M. O.

II

Introduction a la Géométrie générale, par G. Lechalas, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. Un vol. in-18 de IX-58 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1904.

Dans cet opuscule, M. Lechalas expose ses idées sur la géométrie générale et sur les géométries non euclidiennes sous une forme plus systématique qu'il n'a pu le faire antérieurement. En voici l'analyse :

Préface. On a fait des tentatives entachées d'erreurs partielles pour ramener à une sorte d'unité la géométrie euclidienne et la géométrie non euclidienne ; l'auteur essaye de montrer que la conception d'espaces à plus de trois dimensions est nécessaire et suffisante pour opérer cette unification d'une manière simple.

I. *Géométrie euclidienne à une, à deux et à trois dimensions.*

1. *Symétrie et retournabilité.* Les figures symétriques dans un espace à 1, 2, 3 dimensions, par rapport au point, à un espace à une ou à deux dimensions ne sont pas superposables lorsqu'on les laisse dans l'espace où elles se trouvent ; au contraire, dans les deux premiers cas, on peut les superposer en les retournant dans un espace à 2 ou à 3 dimensions ; il en serait probablement

de même dans le troisième cas, si l'on pouvait faire mouvoir les figures considérées dans un espace à quatre dimensions.

2. *Géométrie sphérique.* Un cercle sur une sphère a deux pôles ou centres sur cette sphère, les distances y étant comptées sur des arcs de grand cercle.

3. *Généralisation de l'idée de courbure.* Courbure d'un arc, d'une surface ; sa mesure sans sortir de la surface ; conséquence pour la mesure d'une géodésique.

II. *Géométrie euclidienne à quatre dimensions.*

1. *Livre V de la géométrie à quatre dimensions.* Deux figures symétriques de l'espace à trois dimensions sont superposables si on les retourne dans l'espace à quatre dimensions.

2. *Sphère à trois dimensions.* Dans une sphère à trois dimensions, une grande sphère à deux dimensions a deux centres et est retournable par rotation autour d'un de ses grands cercles. Ces sphères à trois et à deux dimensions sont identiques à l'espace riemannien et au plan riemannien, et le grand cercle est identique à la droite riemannienne. Lorsque l'on se place ainsi dans l'espace euclidien à quatre dimensions, on peut comparer les constantes caractéristiques des divers espaces riemanniens au point de vue de leur grandeur.

III. *Géométrie des espaces à courbure constante négative.* L'auteur, n'admettant pas l'existence de surfaces euclidiennes à courbure constante négative complètement analogues au plan lobatchefskien, étudie ici ce plan et l'espace lobatchefskien à trois ou à quatre dimensions. Il explique un paradoxe relatif à la longueur d'un horicycle comparée à celle de sa corde, expose et réfute la fausse démonstration de Carton du postulatum d'Euclide. D'après M. Lechalas, les horisphères et les horicycles sont identiques au plan euclidien et à la droite euclidienne si on les étudie dans un espace lobatchefskien à quatre dimensions. Mais les pseudosphères ne sont pas identiques au plan lobatchefskien, parce que leurs géodésiques ont d'autres propriétés que les droites lobatchefskiennes. — En revanche, à la rigueur, dans des espaces appropriés, un plan euclidien et un cylindre parabolique sont indiscernables.

Tel est, en substance, le savant plaidoyer de M. Lechalas en faveur des idées qu'il défend depuis longtemps sur la géométrie générale.

M. Lechalas indique avec précision dans son livre les points où nous sommes et ceux où nous ne sommes pas d'accord avec lui et il résume très bien nos raisons (pp. 34 et 36). Nous croyons

inutile d'y revenir. Mais voici quelques autres observations de détail. 1° Deux segments AB, B'A' d'une droite tels que AO = OA', BO = OB' sont égaux, de manière que AB = B'A', mais, *par définition*, ils ne sont pas superposables de manière que AB tombe sur A'B' (A en A', B en B'), si l'on ne sort pas de la droite ; il n'y a donc pas lieu de s'en étonner. Mais on peut démontrer, *sans retournement*, l'égalité de tous les éléments des figures symétriques dans le plan (De Tilly) et, par suite, dans l'espace décomposer les triangles symétriques en parties superposables (sans retournement) et de même les tétraèdres symétriques (Darboux) (1). 2° L'emploi du mot de *courbure* n'est-il pas inutile dans l'étude des diverses géométries ? M. Lechalas semble être aussi de cet avis (pp. 12 et 40). 3° Tous les théorèmes relatifs aux espaces à quatre dimensions, selon nous, sont des théorèmes d'algèbre, n'ayant aucune conséquence géométrique dans l'espace à trois dimensions. 4° A la page 23, n'aurait-il pas été utile de rappeler que les deux plans de projection ont *un point de terre* commun. En géométrie descriptive ordinaire, on n'a pas besoin de deux plans de projection, mais d'un seul et d'*une droite de projection*. 5° La seconde équation de la page 35 peut sembler inexacte ; elle ne l'est pas : a, b, c y ont un autre sens que dans la première, ils représentent les rapports des côtés à l'arc de 1°. 6° On peut donner à la pseudosphère euclidienne toutes les propriétés intrinsèques du plan lobatchefskien en l'enroulant une infinité de fois sur elle-même ; cela renforce la thèse de M. Lechalas, nous semble-t-il. 7° La théorie des espaces algébriques à n dimensions euclidiens, riemanniens, lobatchefskiens se fait aisément, sous forme unitaire, en partant de la *seule* relation entre les distances $1x$, $2x$,. ., mx de $m = n + 2$ points 1, 2...., m, et un point x (r réel, ou purement imaginaire, ou ∞) :

$$\alpha_1 \cos\left(\frac{1x}{r}\right) + \alpha_2 \cos\left(\frac{2x}{r}\right) + \cdots + \alpha_m \cos\left(\frac{mx}{r}\right) = 0.$$

Par cette voie, on peut établir facilement, croyons-nous, tous les théorèmes algébriques invoqués par M. Lechalas : mais les

(1) Il semble bien que ce soit la naïve ignorance de Kant en géométrie élémentaire, touchant ce point de la théorie des solides symétriques, qui ait été l'origine de son criticisme (Ruyssen, *Kant*, 2e édition, Paris, Alcan, 1904, pp. 56-58). Kant ignorait aussi les premiers principes de l'astronomie sphérique, comme le prouve le célèbre passage de la préface de la seconde édition de la *Critique de la raison pure* où, en se comparant à Copernic, il attribue à celui-ci une erreur grossière, devenue classique chez les vulgarisateurs de toute espèce.

coordonnées des points sont, non pas des distances, mais des sinus (circulaires ou hyperboliques) de ces distances. Cette dernière remarque explique pourquoi nous ne pouvons nous rallier à la thèse de M. Lechalas sur l'identité de certaines figures non euclidiennes avec des figures euclidiennes, bien que nous ne fassions aucune objection aux calculs qu'il esquisse.

P. Mansion.

III

Der geometrische Vorkursus in schulgemässer Darstellung. Mit reichem Aufgabenmaterial nebst Resultaten zum Gebrauche an allen Lehranstalten. Bearbeitet von E. Wienecke, Lehrer in Berlin. Un vol. in-8° de 98 pages, avec 59 figures dans le texte. — Leipzig, B. Teubner, 1904.

Ce livre correspond assez bien à la partie du programme de nos écoles primaires qui est intitulée *Formes géométriques*. Après des considérations pédagogiques et méthodologiques sur le premier enseignement de la géométrie (pp. 1-18), l'auteur explique les *notions fondamentales* sur le cube, le prisme à base carrée, la pyramide régulière à base carrée, le cylindre, le cône et la sphère. Il passe ensuite à l'*extension des notions fondamentales* en étudiant la droite, l'angle, les différentes espèces de triangles, l'égalité des triangles, le carré, le losange, le rectangle, le parallélogramme, le trapèze, le quadrilatère quelconque, le tracé d'une échelle de parties proportionnelles, le cercle ; la mesure des polygones, du cercle et de la circonférence est donnée avec des applications, elle est même souvent démontrée par des moyens élémentaires. Enfin, une dernière section traite des volumes du cube, du prisme, du cylindre, de la pyramide et du cône.

Maint professeur de l'enseignement moyen rendrait ses leçons de géométrie plus attrayantes et plus fructueuses en s'inspirant de la méthode intuitive que M. Wienecke a développée avec un talent réel dans son *Vorkursus*.

J. N.

IV

Traité de Perspective linéaire, par O. Lambot, professeur à l'Athénée royal d'Arlon. Un vol. in-8° de VI-132 pages, et un atlas in-8° de 31 pl. (142 fig.). — Bruxelles, A. Castaigne, 1904.

Il semble que les professeurs de dessin, sur le point d'enseigner la perspective linéaire, n'aient le choix qu'entre deux méthodes d'enseignement : la méthode purement empirique, qui se réduit à inculquer aux élèves les règles des constructions graphiques, règles à suivre machinalement et de confiance, et la méthode rigoureusement scientifique, qui appuie les principes et les lois de la perspective sur leurs bases propres, c'est-à-dire sur la théorie des projections centrales ou polaires et sur la géométrie projective. Or, une mauvaise pédagogie peut seule se contenter d'un enseignement exclusivement empirique et où l'on ne dit rien à l'esprit de l'élève. D'autre part, on ne peut dans l'enseignement moyen aborder la théorie des projections et la géométrie projective, réservées à juste titre aux programmes universitaires. Entre ces deux voies, l'une toute empirique, l'autre trop scientifique, il y a place pour une méthode intuitive, basée sur l'observation directe et où l'on soit également soucieux de faire l'éducation de l'œil et de la main de l'élève et de s'adresser à son intelligence. Telle est la méthode suivie par M. Lambot.

Dans le présent traité de perspective, visiblement écrit par un professionnel de l'enseignement moyen, on retrouvera toutes les diverses qualités du *Cours de Dessin technique*, déjà loué ici-même l'an dernier (Revue des Quest. scientif., t. LIII, pp. 281-285) : sûreté de doctrine, sobriété dans les théories, texte habituellement concis et souvent suggestif et intéressant.

L'auteur a voulu faire de la perspective une branche de dessin bien indépendante. Il y arrive par l'emploi du tableau transparent, c'est-à-dire de la vitre rectangulaire dressée sur le plan géométral : grâce à cet humble outil d'enseignement et de travail, on établit directement les principes de la perspective ; on déduit ensuite de ces principes, par des raisonnements géométriques fort simples, les règles pratiques de la mise en perspective des figures de l'espace sans le tracé graphique préalable des projections.

Où l'auteur se montre davantage encore personnel, c'est dans les nombreux exemples et les problèmes généraux de son

ouvrage : il traite ces problèmes pratiques toujours par cette voie directe et avec une constante simplicité de méthode. Souvent un même problème reçoit diverses solutions, qui correspondent aux diverses difficultés des applications.

Nous approuvons cependant l'auteur d'avoir indiqué, afin de n'être pas incomplet, la marche à suivre pour déduire la perspective d'un corps de l'épure des projections de ce corps.

L'ouvrage est à recommander aux nombreux professeurs de dessin dans les académies, les écoles moyennes et les écoles normales et aux candidats au diplôme de professeur de dessin devant le jury de Louvain.

B. L.

V

Abaque des amortissements, par le R. P. J. Schul, S. J., professeur à l'Institut Saint-Ignace à Anvers. Une brochure in-4° de 7 pages, avec planche lithographiée. — Anvers, Imprimerie centrale, 34, Rempart Kipdorp, 1904.

Il existe déjà, dû à M. Prévot et reproduit par M. d'Ocagne (*Traité de Nomographie*, 1899, p. 307), un abaque des amortissements, mais l'abaque imaginé par le P. Schul est beaucoup moins compliqué et d'un emploi bien plus commode. Le P. Schul met la formule des amortissements sous la forme d'un rapport, $\frac{a}{A} = \frac{f(n, r)}{1}$, prend directement dans une table de Pereire les valeurs de la fonction $f(n, r)$ correspondantes aux taux les plus usuels de 1 % à 6 % et aux durées de 1 an à 90 ans, et arrive à construire un abaque d'une forme presque aussi simple et d'un emploi aussi commode et aussi rapide que l'abaque des intérêts composés de M. d'Ocagne (*Traité de Nomographie*, p. 325). Il suffit d'une règle pour résoudre en deux ou trois coups de crayon chacun des quatre problèmes d'amortissements : recherche de A, ou de a, ou de n, ou de r.

Nous regrettons le format trop grand de cet abaque, format qui rend l'abaque moins maniable et exige qu'on ait sous la main une règle plate très grande et très sûre. Réduit à une échelle deux ou trois fois moindre, par exemple sous un format 0,18 × 0,12, l'abaque du P. Schul entrerait facilement dans la

pratique usuelle ; la photogravure peut fournir des clichés d'une finesse et d'une sûreté suffisantes. D'ailleurs, un abaque en matière financière ne peut prétendre à répondre au degré d'approximation requis par le calcul de banque : son rôle, comme le P. Schul le remarque lui-même très bien, est de donner commodément et rapidement des résultats d'une approximation suffisante, lorsqu'il s'agit d'une première évaluation des conditions d'une opération financière projetée. L'excellent abaque du professeur de l'Institut Saint-Ignace atteindra parfaitement ce but. B. L.

VI

Physikalisches Praktikum für Anfänger dargestellt in 25 Arbeiten von Dr Pfeiffer, Professor an der Industrieschule zu München. Un vol. in-8° de 150 pages, avec 47 figures dans le texte. — Leipzig, B. Teubner. 1903.

Depuis la réorganisation récente des écoles industrielles en Bavière, les exercices de laboratoire physique ont été rendus obligatoires pour toutes les catégories d'élèves de ces écoles. C'est cette circonstance qui a déterminé l'auteur à composer le présent livre d'après des cahiers manuscrits rédigés pendant un enseignement d'une vingtaine d'années. L'ouvrage doit permettre à l'élève de préparer chez lui les connaissances théoriques nécessaires à une expérience, le guider au laboratoire pendant l'exécution, enfin, lui fournir des renseignements utiles pour la rédaction du rapport écrit sur le travail.

L'ouvrage nous paraît répondre parfaitement au but à atteindre. Voici la table des matières, elle peut intéresser nos lecteurs.

Mécanique. 1. Niveau à bulle d'air. 2 et 3. Cathétomètres Fuess et Ertel. 4. Machine à diviser. 5. Mesure de l'élasticité. 6. Aréomètre. 7. Appareil de Jolly. 8. Balance. 9. Baromètre. 10. Détermination d'un moment d'inertie.

Chaleur. 11. Détermination d'un point de fusion. 12. Thermomètre. 13. Détermination du coefficient de dilatation linéaire. 14. Dilatomètre. 15. Calorimètre. 16. Hygromètre. 17. Détermination d'une densité de vapeur.

Électricité. 18. Détermination de résistances galvaniques. 19. Pont de Wheatstone et galvanomètre. 20. Mesure d'un cou-

rant électrique. 21. Galvanomètre de Beetz. 22. Voltamètres. 23. Électrocalorimètre.

Optique. 24. Lentilles. 25. Microscope.

Les figures sont irréprochables et l'exécution typographique fait honneur à la maison Teubner.

J. N.

VII

Experimentelle Elektrizitätslehre mit besonderer Berücksichtigung der neueren Anschauungen und Ergebnisse, dargestellt von Dr Hermann Starke. Un vol. in-8° de xiv-422 pages, avec 275 figures dans le texte. — Leipzig, B. G. Teubner, 1904.

Ce n'est pas en vain que ce traité d'électricité expérimentale porte en sous-titre : " Spécialement adapté aux théories et aux faits d'expérience les plus récents „. Écrit comme développement ou souvenir d'un de ces " Ferienkursus „ ou cours de vacances qui se font dans les universités allemandes, surtout à l'intention des instituteurs et des professeurs de l'enseignement secondaire, il avait justement pour objet d'exposer les progrès de l'électricité qui ont si profondément changé ce qu'on enseignait il y a quelque quinze ou vingt ans. Une fois le travail de rédaction commencé, l'auteur a élargi un peu son plan, de manière à en faire un ouvrage d'un type intermédiaire entre les manuels ordinaires de physique purement expérimentale et les traités de physique mathématique proprement dite. Les dérivées y sont employées, mais avec grande discrétion ; les intégrales sont tournées, ou bien, dans les cas très rares où elles apparaissent comme telles, leur signification est expliquée d'une manière élémentaire. Je le comparerais volontiers, au point de vue du degré de l'enseignement qu'il contient, à l'excellent *Traité élémentaire d'électricité* de J. Joubert, connu aussi pour la concision, la clarté et la précision de sa méthode. Mais il a sur le traité français le très précieux avantage d'avoir été rédigé à un moment où d'énormes changements venaient d'avoir lieu, et d'atteindre dans leur évolution un état d'avancement suffisant pour se prêter à un exposé didactique.

Les parties anciennes sont donc traitées rapidement, bien qu'avec le développement nécessaire, sans rien de plus. Mais,

déjà après le premier chapitre consacré à l'Électrostatique, nous en trouvons un autre qui reprend cette même matière et la développe sous sa forme plus moderne; il est intitulé : *Les phénomènes de l'électrostatique considérés au point de vue de la théorie de Faraday-Maxwell.*

Le troisième traite du magnétisme, le quatrième de l'électromagnétisme.

Le cinquième est consacré à l'électrolyse, un des sujets les plus complètement renouvelés par les théories modernes grâce aux travaux d'Arrhénius, de Nernst, d'Ostwald.

Le sixième, mesures électriques, et le huitième, mesures magnétiques, sont traités avec une ampleur inusitée et contiennent, avec un grand nombre de méthodes, des renseignements très intéressants.

L'induction électromagnétique fait l'objet du septième, et les applications (machines, téléphone), du neuvième.

Avec le dixième, courants alternatifs, nous rentrons de nouveau dans le champ des progrès les plus récents où se complaît surtout l'auteur. Ce chapitre ainsi que le suivant, consacré aux oscillations électriques, comprennent chacun un cinquième de l'étendue de l'ouvrage entier. L'un et l'autre sont traités supérieurement. A remarquer dans le premier les nombreuses méthodes de mesure.

Enfin vient encore un chapitre très important, celui qui sera peut-être accueilli avec le plus de faveur par ceux qui n'ont pas les moyens de se renseigner aux sources, c'est celui de la conductibilité électrique des gaz par le moyen des ions. Quel que soit le sort futur des théories ioniques, les faits sur lesquels elles s'appuient sont actuellement si solidement établis, et leur interprétation par les mécanismes de transport projette tant de lumière sur des phénomènes importants, dont aucune autre théorie n'a pu rendre compte, qu'elles ne peuvent manquer de s'imposer tôt ou tard dans l'enseignement classique. L'exemple de H. Starke montre que dès à présent elles possèdent assez de netteté pour le faire avec un plein succès.

V. S.

VIII

Mathematische Einführung in die Elektronentheorie, von Dr A. H. Bucherer. Un vol. in-8° de 148 pages, avec 14 figures dans le texte. — Leipzig, B. G. Teubner, 1904.

Einführung in die Maxwellsche Theorie der Elektrizität, mit einem einleitenden Abschnitte über das Rechnen mit Vektorgröszen in der Physik, von Dr A. Föppl. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage, herausgegeben von Dr M. Abraham. Un vol. in-8° de xviii-443 pages, avec 11 figures dans le texte. — Leipzig, B. G. Teubner, 1904.

C'est encore la théorie des particules électriques qui fait l'objet de ces deux ouvrages. Mais cette fois il s'agit de la théorie mathématique.

Le premier a pour objet de condenser en un petit nombre de pages, et le plus simplement qu'il est possible, les éléments principaux de cette théorie. On en a donc choisi les points essentiels, d'où on a déduit les phénomènes avec la préoccupation constante de montrer l'accord entre la théorie et l'expérience. Et ce programme est fort bien rempli. Le physicien qui ne peut se consacrer à l'étude des traités complets trouvera dans ce petit livre tout ce qu'il importe de savoir sur la masse électromagnétique, les charges électriques douées de translation ou de rotation, le rayonnement, l'effet Zeeman, les rayons de Roentgen, l'influence du mouvement sur les phénomènes optiques, et celle de la matière sur les phénomènes électroniques, enfin snr les bases de la théorie de la dispersion.

Les méthodes suivies sont celles de Maxwell, de H. A. Lorentz et de O. Heaviside. Le mode d'exposition repose sur l'emploi de la théorie des vecteurs, dont la connaissance est supposée.

L'ouvrage de Föppl et Abraham commence, au contraire, par un petit traité du calcul vectoriel. Car eux aussi ont jugé que ce mode d'exposition présentait des avantages précieux, au point de vue de la clarté et de la brièveté ; et ils déplorent que ce calcul, universellement connu maintenant en Angleterre, ne soit pas plus répandu en Allemagne. Ne pourrait-on pas en dire autant de la France et des autres pays de langue française ?

Dans le plan de M. Abraham la théorie de l'Électricité comprendra deux volumes. Le premier est une seconde édition du

traité bien connu de A. Föppl ; son titre particulier, *Introduction à la théorie de l'électricité de Maxwell*, indique l'esprit dans lequel il a été conçu par son premier auteur. Il s'agissait de coordonner et de corriger parfois les conceptions à la fois si profondes dans leur fécondité et si peu logiques dans leur forme de l'illustre physicien anglais. Föppl s'y était appliqué il y a une dizaine d'années, comme Boltzmann, Poincaré, plus tard Duhem et d'autres encore. Mais, après son premier volume, qui lui fit le plus grand honneur, la direction un peu opposée prise par sa carrière universitaire l'avait forcé de renoncer à faire le second, comme aussi à donner du premier une réédition devenue nécessaire.

C'est à ce travail que s'est consacré d'abord M. Abraham. Naturellement les prodigieux accroissements pris dans ces dernières années par les théories électroniques demandaient certains remaniements dans la première partie et réclamaient pour ces théories elles-mêmes une place prépondérante dans la seconde. M. Abraham, qui lui-même est un de ceux qui se sont employés avec le plus de distinction à leur développement, publie aujourd'hui les premiers résultats de ce travail.

Bien entendu, les idées de Maxwell restent à la base de tout l'édifice. Par conséquent, nous retrouvons ici le fond des ouvrages similaires plus anciens, mais avec l'indication précise des modifications nécessitées par leur extension aux charges électroniques en mouvement, chaque fois que l'occasion s'en présente. La considération *ex professo* de la théorie électronique proprement dite, d'après Lorentz, la théorie plus rigoureuse et plus complète des rayonnements lumineux et calorifique, des oscillations hertziennes et de la télégraphie sans fil feront l'objet du second volume. La valeur des travaux personnels de l'auteur dans ce domaine ne manquera pas d'y donner un très vif intérêt.

Voici un aperçu du contenu du premier :

Livre premier : *Théorie des vecteurs.* — Livre deuxième : *Le champ électrique.* Chapitre I. *Le champ électrostatique dans l'air* ; Chapitre II. *Les diélectriques* ; Chapitre III. *L'énergie et les forces pondéromotrices du champ électrostatique* ; Chapitre IV. *Le courant électrique.* — Livre troisième : *Le champ électromagnétique.* Chapitre I. *Les vecteurs magnétiques* ; Chapitre II. *L'électrodynamique des courants quasi-stationnaires* ; Chapitre III. *Les ondulations électromagnétiques.* — Livre quatrième : *Développement de la théorie.* Chapitre I. *Les corps*

ferromagnétiques; Chapitre II. *L'électrodynamique des corps en mouvement.*

V. S.

IX

Résistance, Inductance et Capacité, par J. Rodet, ingénieur des Arts et Manufactures. Un vol. in-8° de x-257 pages, avec 76 figures dans le texte. — Paris, Gauthier-Villars, 1904.

Le développement toujours croissant de l'emploi des courants alternatifs simples et des courants polyphasés met fréquemment les ingénieurs en présence de problèmes relatifs à la résistance, à l'inductance et à la capacité. C'est ainsi que l'auteur a été amené à rassembler pour son propre usage un assez grand nombre de notes recueillies dans diverses publications, ainsi que des études et des résultats d'expériences personnelles. D'autre part, il a jugé nécessaire de connaître la théorie même de certains phénomènes électriques, ainsi que les méthodes d'établissement de quelques formules relatives à l'inductance et à la capacité. La plupart de ces théories et de ces formules étaient déjà établies, mais elles se trouvent disséminées dans des publications nombreuses, parfois étrangères, et leur compilation eût été fort laborieuse et souvent même impraticable. Dans beaucoup de cas, l'auteur a préféré suppléer par des études personnelles à ces recherches dans la littérature technique.

L'ouvrage de M. Rodet est donc une sorte de complément aux traités usuels, destiné à fournir aux ingénieurs des renseignements théoriques et pratiques sur les développements les plus récents des applications industrielles de l'électricité qui n'ont pu encore trouver place dans les manuels classiques. La haute compétence de l'auteur, la clarté et la simplicité qui caractérisent ses précédents ouvrages se retrouvent à un haut degré dans le présent volume. De nombreux tableaux numériques et graphiques, ainsi que des exemples concrets traités en détail, en facilitent la lecture.

V. S.

X

Notices sur l'Électricité, par A. Cornu, extraites de l'Annuaire du Bureau des Longitudes, avec une préface de M. A. Potier, membre de l'Institut. Un volume in-16 de VII-274 pages. — Paris. Gauthier-Villars, 1904.

C'est une heureuse inspiration d'avoir réimprimé et édité en un volume les notices très remarquées, publiées par l'illustre physicien dans l'Annuaire du Bureau des Longitudes de 1893 à 1896. Écrites en vue de faciliter aux esprits cultivés l'initiation souvent un peu pénible, quand on n'est plus jeune, aux secrets de cette électricité qui, de nos jours, opère tant de merveilles dans l'industrie, ces pages sobres et nettes, à la fois élémentaires et rigoureuses, ont rencontré le plus vif succès. Elles portent profondément la marque du génie si lucide, si simplificateur, si l'on peut ainsi parler, de leur auteur. Sous leur forme actuelle, elles seront bien plus facilement accessibles que dans les volumes de l'Annuaire, et n'en contribueront que mieux à répandre l'intérêt pris dans tous les milieux aux développements scientifiques de l'industrie.

V. S.

XI

Lois fondamentales de l'Électrochimie, par P.-Th. Muller. Un vol. petit in-8° de 186 pages *(Encyclopédie scientifique des Aide-mémoire)*. — Paris. Gauthier-Villars et Masson.

Comme tant d'autres ouvrages publiés dans la même collection, ce petit traité se distingue par la clarté et la concision. Il a pour but spécial de répandre la connaissance de la théorie de la dissociation ionique d'Arrhénius si heureusement développée par Oswald, Nernst, etc. et sur laquelle la littérature de langue française n'est pas encore fort riche. Il rendra donc les plus grands services à ceux qui voudraient s'initier à ce progrès important à la fois de l'électricité et de la chimie, sans avoir à remonter péniblement jusqu'aux mémoires originaux.

V. S.

XII

Leçons sur la Navigation aérienne. Ballons sphériques. Aérostation militaire. Aérostation scientifique. Aérostation maritime. Ballons dirigeables, par L. Marchis. Un vol. grand in-8° autographié de 14-704-105 pages. — Paris, Dunod.

Ces leçons professées à la Faculté des sciences de Bordeaux (1903-1904) forment une véritable encyclopédie, unique en son genre, où l'histoire, la théorie, la pratique, les applications de la navigation aérienne sont exposées avec ampleur et une admirable clarté. L'appareil mathématique y est réduit à la juste mesure. Ceux qui, à un titre quelconque, abordent la science aéronautique ne trouveront pas de meilleur guide ; mais ils ne seront pas les seuls à lire ces leçons avec plaisir et profit : il faut y joindre les physiciens, les météorologistes, tous ceux qu'intéresse la mécanique de l'atmosphère. Voici un très court résumé de la table des matières :

Introduction. Aperçu sur l'histoire de la Navigation aérienne. — Ch. I. *Statique et dynamique du ballon à volume maximum constant. Lois de Meusnier.* Définitions. Force ascensionnelle. Mouvements verticaux. Ruptures d'équilibre. Le lest et sa manœuvre. Le guide-rope. L'atterrissage. — Ch. II. *La technique des ballons.* Préparation du gaz de gonflement. Enveloppe. — Ch. III. *Les ballons à volume maximum variable. Lois de Meusnier-Renard.* Propriétés générales. Construction. Expériences de 1903. — Ch. IV. *L'aérostation militaire.* Les aérostiers militaires pendant les guerres de la Révolution et pendant la guerre de 1870. L'aérostation militaire moderne en France, en Allemagne, en Angleterre, en Autriche-Hongrie, en Italie, en Russie, en Espagne, aux États-Unis, en Chine et au Japon, en Suisse, dans les divers autres États. — Ch. V. *L'aérostation scientifique.* Première période. Ascensions internationales. Ballons montés et ballons-sondes. Instruments d'observation. Résultats. Ballon cerf-volant et Cerf-volant. — Ch. VI. *Aérostation maritime.* Travaux et appareils de M. Hervé. Expériences. — Ch. VII. *Ballons dirigeables.* Conditions essentielles de la dirigeabilité. Stabilité. Propulsion. Résistance à l'avancement. Déversement. Expériences.

L'ouvrage se termine par 106 pages d'Annexes et contient trente-neuf tableaux numériques.

J. T.

XIII

Essai sur l'Esprit musical, par Lionel Dauriac, professeur honoraire à l'Université de Montpellier. Un vol. in-8° de la *Bibliothèque de Philosophie contemporaine*, v-304 pages. — Paris, Félix Alcan, 1904.

On connaît depuis longtemps déjà les qualités de M. Lionel Dauriac comme esthéticien de l'art musical. Son nouvel ouvrage ne peut que confirmer son autorité, et nous serions très heureux de pouvoir en faire saisir tout l'intérêt ; mais nous devons avouer qu'il nous paraît difficile d'y arriver d'une façon suffisamment brève, les remarques de l'auteur, ingénieuses et intéressantes, manquant un peu de relief en dehors de quelques idées générales.

Étudiant, non pas spécialement l'amateur, le virtuose, le compositeur, le critique, mais l'homme tout court, au point de vue musical, M. Dauriac est amené à distinguer nettement " l'intelligence musicale „ de " l'oreille musicale „. Cette dernière est l'objet d'une science spéciale, l'Acoustique psychologique, tandis que la première donne lieu à la Psychologie musicale. De ces deux sciences, l'une observe ce qui se passe dans la conscience chaque fois qu'une sensation sonore y pénètre, tandis que l'autre s'attache aux effets psychologiques produits ou par une succession d'accords, ou par une suite mélodique.

D'après cela on peut prévoir que l'oreille musicale n'occupe qu'une faible place dans l'*Essai sur l'Esprit musical*, car la Psychologie musicale ne fait que se greffer sur l'Acoustique psychologique tout en en restant partiellement indépendante.

Dans la discrimination des fonctions relevant de l'intelligence musicale, M. Dauriac s'appuie sur ce principe qu'*est intellectuel tout acte synthétique*. Il résulte de là que l'appréhension des éléments quantitatifs de la mélodie (mouvement, mesure, rythme) présente un caractère intellectuel : cette appréhension constitue les fonctions inférieures de l'intelligence musicale.

Au-dessus apparaît la synthèse des " éléments qualitatifs „ de la musique. Ces éléments (du moins ceux de la mélodie) sont tout ce que l'on peut solfier ; sans doute la hauteur des sons est objectivement quantitative, mais pour le musicien elle est qualitative. C'est bien, d'ailleurs, l'intelligence qui nous fait apprécier les combinaisons de ces éléments, comme le montrent suffisamment les faits d'éducation musicale, celle-ci permettant de

comprendre des œuvres primitivement considérées comme un assemblage de sons incohérents.

Pour se rendre compte de la façon dont se fait l'éducation musicale, M. Dauriac la rapproche, non de la manière dont s'apprend une langue étrangère, mais de l'apprentissage et de l'usage progressif de la langue maternelle. Ayant vu ainsi comment elle naît, il étudie les cas où elle est absente, et cela l'amène à distinguer la surdité tonale et la surdité musicale, la première empêchant de distinguer correctement les sons, d'être désagréablement affecté par une fausse note, tandis que le sourd musical entend bien des sons mais ne se rend pas compte des airs.

Vient ensuite l'étude des degrés et de l'éducation de l'intelligence musicale, et l'auteur insiste à cette occasion sur la nécessité de développer l'intelligence en même temps que le mécanisme, chez l'exécutant.

La mémoire musicale est assez longuement étudiée, et M. Dauriac en distingue les diverses variétés, mémoire tonale, mémoire des degrés, des timbres et des intensités, mémoire des rythmes et des mouvements. Ces distinctions ne sont pas artificielles, car la nature les fait en répartissant inégalement ces diverses mémoires. Mais il est une mémoire que l'on appelle proprement la " mémoire musicale „, et c'est la mémoire des successions mélodiques. A celle-ci, pour s'élever au rang d' " amateur „, il faut, d'ailleurs, ajouter celle des modulations, des harmonies, des traits de contrepoints, des airs entendus " plusieurs à la fois „ et cependant discernés.

Quant à l'imagination musicale, elle n'appartient au sens propre qu'au compositeur ; mais chez le premier venu l'imagination peut être éveillée par la musique, comme quand un air de cor nous fait imaginer une chasse. Quand la musique excite l'imagination psychologique, nous la disons expressive. Puis vient, dans le livre de M. Dauriac, l'imagination motrice (certaine musique incite à danser), imagination dont l'étude nous paraîtrait mieux placée plus tôt, comme se rattachant au rythme, base quantitative de la musique.

Les chapitres consacrés au plaisir musical sont fort développés : l'un étudie les caractères du genre et l'autre ses espèces. A propos de l'intensité et de la profondeur de l'émotion musicale, en apparence si disproportionnées avec leur cause, M. Dauriac veut bien rappeler ce que nous avons dit à ce sujet (1).

(1) Signalons une faute d'impression dans le renvoi qu'il fait à notre

Le livre se termine par l'étude des conditions objectives de l'esprit musical, c'est-à-dire de ce qui, hors de nous, permet à notre intelligence musicale d'être et d'agir. La condition essentielle de cette activité, c'est l'existence de " phrases musicales ", dont l'unité est celle d'une " forme ". D'autre part, la phrase musicale conduit naturellement à la " pensée musicale ", expression que M. Dauriac accepte parfaitement pour désigner les impressions et émotions qu'une œuvre dégage, ainsi que les images suscitées par ces émotions. Mais il combat très vivement M. Combarieu qui donne une bien autre portée à la pensée musicale et en fait une suite de " jugements musicaux " (1).

L'ouvrage se termine enfin par quelques pages sur l' " expression musicale ".

G. Lechalas.

XIV

La Peinture, par Jules Breton, de l'Institut. Un vol. petit in-8° de 228 pages. — Paris, Librairie de l'Art ancien et moderne, 1904.

Bien qu'ayant perdu récemment son frère cadet, Émile Breton, M. Jules Breton reste le chef d'une belle famille de peintres, comprenant, outre ce chef lui-même, sa fille, Mme Virginie Demont-Breton, et son gendre, M. Adrien Demont. Il vient de consacrer un volume fort intéressant à l'art auquel il eût voué toute sa vie, si la poésie ne lui eût aussi fait entendre son appel. Ce livre n'est pas un livre de science ; mais un peintre peut-il parler de son art sans aborder certaines questions de technique qui confinent à la physique et à la psycho-physiologie ?

A la base de l'art, M. Jules Breton place l'*impression*, c'est-à-dire l'émotion, ce choc fécond qui fait vibrer l'âme des artistes au spectacle de la nature ; mais sa peinture nous avait assez dit qu'il n'est pas *impressionniste* pour que nous ne fussions pas surpris de le trouver plutôt sévère à l'égard de l'école qui porte ce nom et qui par " impression " désigne la sensation, avec son caractère instantané et fugitif, plutôt que l'émotion elle-même.

article de la Revue Philosophique : il a paru en 1884 et non en 1894. Nous avons repris ce sujet dans nos *Études esthétiques*.

(1) Nous avons assez longuement discuté la thèse de M. Combarieu dans nos *Études esthétiques*.

La sensibilité à l'impression a un caractère inné, et c'est pour cela que, dans l'informe dessin d'un enfant appelé à devenir peintre, on voit déjà poindre ses goûts et ses visées. C'est pendant l'enfance que se forment les impressions les plus permanentes qui, avec l'éloignement, engendrent une vue d'ensemble ne laissant saillir que l'essence des caractères dans l'accord des milieux. De là une condamnation de l'exotisme qui, pour n'être pas absolue, ne manque pas d'autorité.

La doctrine de l'impression entraîne encore bien plus la condamnation de l'imitation sans âme, dont le chef-d'œuvre est le *trompe-l'œil*, cet antipode de l'art. C'est elle qui permet au peintre de rendre l'art plus beau que la nature, mais à condition qu'il voie lui-même la nature plus belle que l'art. C'est ainsi que l'imitation, tout en étant tout à fait sincère, s'élève au-dessus de la reproduction servile.

C'est l'impression encore (mais ici elle semble pencher du côté de l'impressionnisme) qui permet de bien percevoir les colorations et les valeurs, la coloration étant non la couleur en elle-même, mais la couleur modifiée par la lumière, le reflet ou autres influences ambiantes, telles que sa position directe ou fuyante par rapport au foyer d'éclairage ou l'action exaltante du voisinage d'un ton complémentaire, ou bien encore son luisant ou sa matité, son opacité ou sa transparence. Et Jules Breton ajoute que, l'une ou l'autre de ces actions modificatrices exerçant toujours son action, la couleur absolue n'existe qu'à l'état d'abstraction mentale. C'est dans les gris qu'apparaissent toutes les délicatesses des colorations, qui, avec les valeurs, parlent au sentiment d'une façon presque musicale.

L'impression étant tout dans l'art et l'impression étant chose essentiellement personnelle, le maître ne peut que nuire à ses élèves s'il ne les laisse pas libres dans leur choix. “ Plus je vais, dit Jules Breton, plus je trouve que, parmi les choses que l'on apprend, il y en a beaucoup plus de mauvaises que de bonnes. „ Le rôle du maître se borne à débarrasser l'élève de ce qui pourrait obstruer sa voie et à l'empêcher de prendre de mauvaises habitudes, comme celle de s'attacher à des détails inutiles, vus trop séparément. Mais, s'il faut recommander de *voir large*, il ne faut pas imposer la façon de voir large.

Très intéressant est le chapitre intitulé : “ Question de métier. Le procédé de la peinture à l'huile. „ Mais combien on aimerait à le comparer à des pages analogues écrites par des peintres des diverses écoles ! Séduit par la peinture “ au premier coup „, qui

donne des résultats pleins de fraîcheur et de vivacité, Jules Breton ne l'admet cependant que pour les improvisations, sauf parfois en hiver où l'on peut travailler un important morceau deux ou trois jours de suite, si l'on modère suffisamment le chauffage. Au " second coup ", on se heurte à l'*embu*, provenant de ce que la seconde couche est absorbée par la première, encore poreuse. Un troisième coup s'impose (1) ; avec lui on ne retrouve pas la fraîcheur du premier, mais on obtient plus de profondeur. Parfois on a recours à quatre coups et même davantage. Notre auteur ne manque pas d'ailleurs de faire ressortir comment, au milieu de tous ces coups, il ne faut pas laisser s'évanouir l'impression.

Après une partie consacrée à " la divine comédie des arts entre eux ", ce qui ne veut pas dire au mélange des arts, l'auteur termine par un coup d'œil sur l'histoire des arts, dans laquelle il fait intervenir la Muse, afin, semble-t-il, de lui faire tempérer ce que son impression propre aurait de trop exclusif. Il y a là un scrupule des plus louables. L'artiste peut, à certains égards, être un critique admirable (Fromentin l'a bien montré !), mais par là-même que l'impression doit être chez lui très vive et qu'il doit s'y abandonner, sa critique court risque d'être entachée d'exclusivisme. Jules Breton a bien senti le danger, et alors à côté de ses impressions il a placé les restrictions que sa raison lui dictait et les a placées dans la bouche de la muse. Mais c'est la froide raison qui parle alors et qui se borne à atténuer les critiques vives contre l'*impressionnisme*, forme d'art évidemment peu sympathique à notre auteur. Aussi ne voit-on aucune indication de franche admiration pour quelqu'un des vrais chefs-d'œuvre qu'on doit à cette école, si souvent agaçante mais qui n'en compte pas moins quelques maîtres incontestables. Certes nous sommes de vieille date admirateur de Jules Breton ; mais évidemment sa technique ne lui permettra jamais d'atteindre certains effets de lumière auxquels aboutit tout naturellement la *touche divisée*. Qu'on se rappelle le merveilleux effet obtenu par Henri Martin lorsque, au salon de 1903, renonçant enfin à ces couleurs sales qui lui faisaient perdre tout le profit de la touche divisée, il nous a donné ce merveilleux triptyque des âges de l'année comme de la vie humaine !

(1) Cette nécessité du troisième coup n'existe que si le premier avait, pour ainsi dire, un caractère définitif; sur une simple *préparation*, le second coup peut donner les plus heureux résultats.

Mais c'est trop chicaner le grand artiste qui a bien voulu nous parler avec toute son âme de ce qui fait sa gloire et celle des siens. Son livre est ce qu'il pouvait et devait être, puisqu'on ne peut lui demander de ressentir une multiplicité d'impressions incompatible avec sa vocation de peintre.

G. Lechalas.

XV

Stéréoscopie et Projection visuelle, par H. Parinaud. Un vol. in-8° de 90 pages. — Paris, Doin, 1904.

M. le Dr Parinaud a publié une étude de la vision stéréoscopique, qui nous paraît analyser ce phénomène avec beaucoup plus de précision que ne l'avait fait Helmholtz dans son *Optique physiologique*. Celui-ci se borne à peu près à dire que les deux vues stéréoscopiques, reproduisant les images aperçues par chaque œil, reconstituent, par leur fusion, les conditions de la vision normale. Or il y a des différences qu'il est bon de noter.

Nous ne nous arrêterons pas à une affirmation à laquelle M. Parinaud attache une grande importance. Il répète avec insistance que l'image stéréoscopique, comme les deux images diplopiques qui lui donnent naissance par leur fusion, est une image virtuelle, une image cérébrale extériorisée, comme le prouve le fait qu'il n'y a aucun objet là où nous projetons cette image. En réalité, toute image, en tant que perçue est cérébrale et projetée, et il importe assez peu, au point de vue de la perception, qu'il y ait ou non un objet qui y réponde, là où nous la projetons.

Voyons donc de suite comment se produit la vision stéréoscopique. Soient deux cercles égaux contenant deux autres cercles égaux plus petits, dont les centres sont plus rapprochés (fig. 1). Par une divergence des yeux, nous obtenons aisément le phénomène de diplopie, ce qui nous donne quatre figures, dont les deux centrales

Fig. 1.

vont se rapprochant quand la divergence augmente (1). Il arrive un instant où les deux petits cercles se superposent, puis c'est le tour des deux grands cercles si la divergence continue à s'accentuer. Considérons, par exemple, ce dernier cas. Alors il semble que nous devrions voir les deux petits cercles se coupant comme le montre la fig. 2, et c'est de fait ce que voient certaines per-

Fig. 2.

sonnes (2). Si en effet deux points homologues des deux grands cercles forment leurs images en deux points correspondants des rétines, il n'en est pas de même des points homologues des petits cercles, par suite de leur excentricité par rapport aux grands. Néanmoins la fusion s'opère et l'on ne voit qu'un petit cercle, comme on ne voit qu'un grand cercle, pourvu qu'on soit bien apte à la vision binoculaire. Il va de soi que chaque point est extériorisé au point de croisement de ses deux axes de projection.

Dans la vision stéréoscopique, les regards étant divergents, ou plutôt moins convergents, les images se croisent, c'est-à-dire que celles qui correspondent à l'œil droit sont projetées à gauche et inversement. Dès lors, du moment que l'écartement des centres des petits cercles est moindre que celui des centres des deux grands, l'intersection de leurs axes de projection sera plus voisine des yeux que celle des axes de projection des centres des grands cercles : le petit cercle résultant de la fusion sera donc dans un plan plus voisin que le grand. Il résulte d'ailleurs du fait même de la divergence que la projection se fait, pour tous deux, plus loin que le plan des figures objectives.

Ces conséquences de la théorie se réalisent exactement quand on se sert d'un stéréoscope, dans lequel on ne voit que les images fusionnées (et fusionnées instantanément) ; mais, si l'on se passe d'appareil, bien qu'obtenant une sensation de relief tout aussi marquée, on est fort exposé (et pour nous c'est la règle générale) à ne pouvoir détacher l'image la plus éloignée du papier du des-

(1) Il s'agit, bien entendu, d'une divergence relative, c'est-à-dire d'une convergence vers un point plus éloigné que la figure.

(2) Le petit cercle de gauche correspond à l'œil droit, et celui de droite à l'œil gauche.

sin, en avant duquel se projettent les parties en apparence plus voisines : il y a là un effet de suggestion qui l'emporte sur la perception que devrait donner la moindre convergence des rayons de projection. Ce fait présente l'inconvénient de s'opposer au grossissement apparent de l'image qui résulterait de sa projection sur des plans plus éloignés, grossissement qui se produit avec le stéréoscope indépendamment de celui qui résulte de la convexité des verres de l'appareil.

Du moment que nous voyons le grand cercle central sur le papier, il est clair, autant qu'il en peut être jugé, qu'il en est de même des deux grands cercles latéraux ne correspondant chacun qu'à un œil, et dès lors les trois cercles apparaissent de même grandeur. Au contraire, il n'en devrait pas être de même pour les petits cercles : celui du centre, étant projeté en avant, devrait paraître plus petit. En fait, autant que la mauvaise vision des petits cercles latéraux permet de l'affirmer, nous n'avons aucun sentiment d'inégalité. M. Parinaud, qui expérimente avec des figures stéréoscopiques découpées à jour, dit obtenir une projection conforme à la théorie pour l'image stéréoscopique, ce qui ne nous surprend pas ; mais il ajoute que les deux figures latérales restent localisées sensiblement dans le plan des figures : nous doutons que ce soit là une loi générale, car la vision monoculaire ne donne qu'une localisation bien faible, et par suggestion il doit être bien facile de rejeter ces images sur le plan où se projette le cercle vu stéréoscopiquement.

Nous n'avons pas encore dit en quoi la vision stéréoscopique diffère de la vision binoculaire réelle. Dans celle-ci, il y a un lien entre la convergence et l'accommodation, toutes deux étant commandées par la distance entre les yeux et l'objet regardé. Au contraire, dans la vision stéréoscopique, tandis que l'accommodation reste réglée par la distance aux images réelles, la convergence est obligatoirement en contradiction avec celle-ci. On remarquera d'ailleurs que, dans la vision d'un objet en relief, l'accommodation ne peut répondre qu'à une partie de cet objet, tandis que, les images stéréoscopiques étant planes, on a une accommodation applicable à toutes leurs parties, du moment que leur étendue est restreinte, ainsi qu'il est du reste nécessaire.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que de la vision stéréoscopique, de beaucoup la plus intéressante. Il en est une autre, la vision *pseudoscopique*, qui renverse les reliefs et s'obtient en faisant concourir les regards plus près que les figures. On réalise facilement le degré de convergence voulue en regardant une aiguille placée

entre celles-ci et en la rapprochant de soi jusqu'à ce que les deux images centrales se superposent, ou du moins fusionnent. Mais nous ne saurions recommander ce procédé : la fixation de l'aiguille a pour effet de régler l'accommodation sur sa distance aux yeux, alors que la pseudoscopie, comme la stéréoscopie, exige la dissociation entre l'accommodation et la convergence.

M. Parinaud a combiné d'ingénieux appareils pour opérer des mesures sur les images, tant stéréoscopiques que pseudoscopiques. Pour les premières, il faut, comme nous l'avons dit, employer des figures évidées (ou peintes sur verre), afin de pouvoir opérer au delà d'elles, là où se projette l'image virtuelle. M. Parinaud dit avoir constaté que le lieu de convergence des axes oculaires correspond au plan postérieur de l'image, dans la vision stéréoscopique, et à son plan antérieur, dans la vision pseudoscopique, ce qu'il constate par le point où l'aiguille est vue simple. Mais il reconnaît qu'on peut déplacer ce lieu de convergence *naturel*. En fait, nous croyons qu'il n'y a là qu'une question d'habitude, habitude qu'il a peut-être inculquée à ses sujets. Pour nous, il nous semble bien que nous obtenons d'abord le plus naturellement la fusion des images stéréoscopiques quand nous atteignons la convergence sur le plan antérieur, convergence obtenue la première, puis que nous faisons un peu jouer la convergence de façon à la régler sensiblement sur le plan milieu, ce qui donne la moindre parallaxe et, par suite, la moindre difficulté de fusion. Mais il faut commencer par fixer la convergence sur un plan bien défini (dans le cas de notre figure il n'y en a que deux) pour obtenir la fusion, et ce n'est qu'ensuite que nous réduisons l'effort nécessaire à la fusion en divisant la parallaxe en deux de sens contraires. Nous augmentons d'ailleurs la sensation de relief en réglant successivement la convergence pour des plans différents, sans perdre à aucun moment la vision unique.

La brochure si intéressante de M. Parinaud se termine par quelques considérations philosophiques qui nous paraissent bien contestables. Notre désaccord avec lui vient, comme nous avons eu déjà occasion de l'indiquer, de ce qu'il attache une importance à nos yeux tout à fait exagérée au fait qu'une image se projette ou non sur un objet qui en soit la cause originelle. Nous croyons superflu d'insister là-dessus ; mais nous ne saurions nous dispenser de signaler cette assertion que l'image de projection *même monoculaire* est une construction à trois dimensions si elle a été développée par l'impression d'un objet à trois dimen-

sions. D'une façon absolue, nous ne nions pas cette assertion, mais nous l'interprétons certainement d'une autre façon que M. Parinaud. Du moment que nous ne disposons que d'une image rétinienne, et si nous faisons abstraction de l'accommodation, la projection de chaque point n'est déterminée qu'en direction ; mais par là-même nous pouvons, en nous guidant instinctivement sur la perspective linéaire et autres éléments d'appréciation, arrêter chaque projection à une certaine distance, et ainsi l'image de projection revêt trois dimensions. Seulement cette qualité est, pour ainsi dire, acquise et non inhérente à la projection monoculaire de toute image résultant de l'action d'une figure à trois dimensions.

G. Lechalas.

XVI

Traité des essais des Matériaux destinés a la Construction des Machines. Méthodes, machines instruments de mesure, par le Professeur A. Martens, directeur du Laboratoire royal d'essais de Berlin-Charlottenbourg. Traduit de l'allemand, avec notes et annexes, par Pierre Breuil, chef de la section des métaux au Laboratoire d'essais du Conservatoire national des Arts et Métiers, ancien directeur du Laboratoire d'essais de la compagnie P. L. M. *Encyclopédie Industrielle fondée par Lechalas*. Deux volumes de 671 pages, avec 558 fig., et un atlas de 31 planches. — Paris. Gauthier-Villars.

L'ouvrage que nous présentons au lecteur est l'un des plus considérables qu'on ait écrits sur l'essai des matériaux. Il contient l'exposé complet de toutes les questions se rattachant à cette science. Le but de l'auteur a été de fournir au constructeur de machines un guide sûr dans le choix des méthodes et des appareils d'essais. Aussi ce traité ne donne-t-il pas une simple nomenclature des procédés usités et des machines existantes. L'auteur s'est attaché surtout à discuter scientifiquement la valeur de chaque épreuve et les résultats qu'elle peut fournir au praticien.

Cette étude est le fruit d'une longue pratique et de nombreuses expériences personnelles effectuées par M. Martens dans le Laboratoire royal d'essais de Berlin-Charlottenbourg, dont il

est le directeur. Dans ce laboratoire, monté avec le souci de pousser jusqu'à l'extrême la perfection des mesures, les essais les plus divers sont exécutés à la demande des industriels ; on y fait également des recherches scientifiques sur la nature des fatigues subies par les matériaux et sur les valeurs des appareils de mesure.

Le directeur de ce laboratoire à la fois industriel et scientifique était tout particulièrement compétent pour écrire ce traité. Un court aperçu du contenu de l'ouvrage suffira pour montrer l'intérêt qu'il présente.

Après avoir consacré la première partie à la définition des propriétés des matériaux : propriétés mécaniques, technologiques, physiques et chimiques, l'auteur aborde l'étude de l'art de les éprouver.

On peut éprouver les matériaux soit pour connaître leur résistance à divers genres de sollicitations, telles que la traction, la flexion, soit pour connaître leur aptitude à subir certaines opérations telles que le forgeage, l'emboutissage.

Les résistances à la traction et à la compression sont étudiées d'une façon très complète. L'auteur décrit et discute avec précision les diverses phases des diagrammes de traction et de compression. Décrivant ensuite sommairement (pour y revenir plus loin) les machines d'essais et les instruments de mesure, il étudie les coussinets et les divers genres d'amarrage des éprouvettes, et l'influence qu'ils ont sur les résultats.

La mesure de la déformation des pièces est discutée avec minutie. La description des phénomènes se produisant au cours de l'essai, écoulement, striction, cassure, est illustrée de nombreuses photographies. L'auteur s'étend longuement sur la manière de faire la mesure de la ductilité. Enfin de nombreux résultats d'essais montrent comment la forme des barettes influe sur les résultats.

Passant à la flexion, l'auteur examine les fatigues qui accompagnent ce phénomène, les phases des diagrammes et les appareils de mesure. Les résistances au flambement, à la torsion, au cisaillement, font l'objet des chapitres suivants.

Une grande importance est attribuée à l'épreuve de la résistance au choc. L'auteur passe en revue les essais d'écrasement, de traction, de flexion par choc, et les circonstances qui peuvent modifier les résultats : vitesse du mouton, forme des éprouvettes, surfaces terminales.

Après quelques considérations sur l'influence de la vitesse dans

les essais de résistance et sur les épreuves à froid et à chaud, les essais de durée sont soumis à une étude approfondie. Une discussion sur la signification et les méthodes des essais de dureté, de ténacité et de malléabilité termine l'étude de la résistance des matériaux aux divers genres de sollicitations.

Sous le nom d'épreuves technologiques, l'auteur passe en revue les épreuves de pliage, l'essai des fils et des tubes, le cintrage, l'emboutissage et l'essai à la presse hydraulique.

La troisième partie de l'ouvrage est consacrée à l'appréciation de la valeur technique des matériaux de construction. Elle intéressera tout particulièrement le praticien ; il y trouvera l'exposé des divers modes d'appréciation des qualités des métaux et l'opinion de l'auteur sur les coefficients de Woehler et de Tetmayer.

La quatrième partie est consacrée aux machines à essayer. Le genre de commande, hydraulique ou mécanique, fait l'objet d'une étude approfondie. Il en est de même des appareils de mesure de l'effort ; balances et manomètres. L'auteur entre dans tous les détails sur le bon fonctionnement des balances et il en décrit un grand nombre de types.

Les principales machines à essayer sont ensuite décrites en détail. De belles planches en facilitent la compréhension.

La dernière partie de l'ouvrage traite de la mesure des déformations. Après quelques considérations théoriques sur les erreurs d'observation et l'étude des instruments de mesure, l'auteur décrit un grand nombre d'appareils destinés soit à lire les déformations des pièces pendant les essais, soit à enregistrer ces déformations sous forme de diagrammes.

Le traducteur a ajouté quelques notes intéressantes sur les récents travaux du colonel Hartmann relatifs à la distribution des déformations dans les métaux, sur la résistance au cisaillement, sur l'essai de choc des barreaux entaillés, et sur quelques nouveaux appareils de mesure. Il décrit les principales machines d'essais françaises et l'installation hydraulique du laboratoire d'essais du Conservatoire national des Arts et Métiers de Paris.

L'ouvrage est complété par de nombreux renseignements bibliographiques.

L'aperçu que nous venons de donner de ce traité suffit pour montrer le haut intérêt qu'il présente. Ajoutons que son auteur, M. Martens, est l'un de ceux qui, dans ces dernières années, ont le plus fait progresser l'art d'essayer les matériaux, tant en créant de nouveaux appareils de mesure qu'en poussant plus

avant l'étude intime de la déformation des métaux. Aussi M. Breuil a-t-il fait œuvre utile en mettant ce magistral ouvrage à la disposition du lecteur français.

N. S.

XVII

Der Anbau der Faserpflanzen besonders der Baumwolle in der Kolonien (La culture des plantes textiles, en particulier celle du cotonnier, dans les colonies), par le Dr F. Schultz. Une brochure in-8° de 52 pages, avec 25 figures dans le texte. — Berlin W., W. Susserott, 1904.

Sous ce titre M. le Dr Schultz publie une brochure d'une cinquantaine de pages dans laquelle il résume les données principales relatives à la mise en culture des plantes textiles les plus importantes qu'il range en quatre groupes :

1° Plantes dont l'écorce des fruits donne les fibres (Coco).

2° Plantes dont les fibres sont extraites des feuilles (Bananiers, Agaves, Palmiers, *Sanseviera*).

3° Plantes dont les tiges fournissent les fibres (Jute, Ramie).

4° Plantes dont les soies des graines sont utilisées comme textiles.

Cette brochure, dont nous recommandons la lecture, présente bien la question grâce à ses nombreuses gravures ; son prix peu élevé et la quantité de matière en font une brochure de propagande qui renferme quelques considérations très judicieuses sur la colonisation en général.

É. D. W.

XVIII

The timbers of commerce and their identification, par H. Stone. — Londres E. C., W. Rider et Son, Manchester House, 164, Aldersgate street, 1904.

M. H. Stone a publié à Londres un volume des plus intéressants sur les bois amenés dans le commerce. Ce travail s'adresse

autant aux industriels qu'aux botanistes, car il renferme pour tous des données de valeur. Il est accompagné de plusieurs planches qui reproduisent des coupes microscopiques de divers bois, permettant au lecteur d'en reconnaître un très grand nombre par leur structure.

L'auteur examine 247 bois, parmi lesquels sept sont indiqués pour l'Afrique tropicale ; certains, signalés pour d'autres régions, existent aussi dans le centre africain de sorte que les essences fournissant du bois, dans cette région, et sur lesquelles on pourra trouver des renseignements dans l'ouvrage de M. H. Stone, sont plus nombreuses. L'ouvrage de M. Stone vient à son heure et nous regrettons vivement de ne l'avoir connu plus tôt, car nous avons commencé dans nos *Notes sur quelques plantes utiles et intéressantes de la flore du Congo*, fasc. II, l'étude des végétaux congolais capables de produire du bois industriel et n'avons pu tenir note du travail de M. H. Stone, les feuilles de nos notes étant déjà imprimées.

The Timbers of commerce and their identification est un des seuls traités présentant, sur cette matière, une somme aussi considérable de renseignements.

É. D. W.

XIX

De Teelt van bacoven voor export (La culture des bananes en vue de l'exportation), par le Dr C. J. J. van Hall. — Paramaribo, septembre 1904.

Sous ce titre, M. le Dr C. J. J. van Hall, Inspecteur de l'Agriculture dans les Indes Occidentales Néerlandaises, vient de publier un intéressant petit opuscule qui constitue le " Bulletin no I " de l'Inspection de l'Agriculture de Suriname. On connaît l'importance acquise dans ces dernières années par la culture et le commerce des bananes fruitières dont tous les gouvernements coloniaux s'occupent en ce moment. Comme le dit très justement M. le Dr van Hall, quand on désire entreprendre une nouvelle culture, il est nécessaire de se faire une idée de la manière dont cette culture est faite à l'étranger ; certes, si le planteur le peut, il sera avantageux pour lui de faire personnellement dans le

pays un voyage qui lui apprendra plus en quelques jours que la lecture de nombreux ouvrages.

C'est dans le but de donner aux planteurs des renseignements sur la question que le Dr van Hall a résumé en les accompagnant de considérations générales, les données relatives à la culture des bananes fruitières (bacoven des Hollandais, banana des Anglais) telle qu'elle se pratique en particulier dans certaines îles des Indes Occidentales Anglaises.

É. D. W.

XX

Psychologie, *la Science de l'Ame dans ses rapports avec l'Anatomie, la Physiologie et l'Hypnotisme*, par le Père A. Castelein, de la Compagnie de Jésus. Nouvelle édition notablement améliorée et augmentée, illustrée de 10 planches en phototypie. — Bruxelles, Albert Dewit, 1904.

Dans la nouvelle édition qui vient de paraître, le R. P. Castelein a soumis à une sérieuse revision son excellent traité de psychologie : celui-ci en sort meilleur encore, notablement augmenté et entièrement mis au courant des connaissances actuelles.

L'esprit général de l'ouvrage est resté le même. L'auteur continue à s'inspirer des doctrines et de la méthode scolastiques.

Sous le titre de *Psychologie fondamentale*, il expose dans une première partie — la plus importante, sinon la plus étendue (250 pages sur les 839 que comporte le livre entier) — les thèses essentielles de la psychologie traditionnelle.

Ces thèses sont au nombre de douze.

La *thèse I* fait connaître la vraie méthode en psychologie : cette méthode a pour point de départ, l'observation des actes de l'âme ; pour moyen, l'analyse des conditions tant internes qu'externes de ces actes et pour principe d'induction, le principe de causalité pleinement appliqué à tous les faits observés. Elle permet seule d'atteindre le but visé qui est la détermination scientifique des caractères de nos facultés ainsi que la nature, l'origine, la destinée de l'âme.

Dans la *thèse II*, l'auteur étudie la nature générale de l'âme et de la vie. Il établit que l'âme est une substance douée d'une activité propre et immanente qu'on appelle la vie ; que celle-ci est

triple, tout en ayant son principe dans l'unité permanente d'une même âme : c'est le développement de cette parole de saint Thomas : *eadem numero est anima in homine, sensitiva et intellectiva et nutritiva.*

La *thèse III* a pour objet l'union du corps et de l'âme. Elle montre que cette union est réelle et substantielle, en d'autres termes, que " l'âme est la forme du corps ", qu'elle est tout entière dans tout le corps et dans chacune de ses parties. Elle combat les théories opposées telles que le duodynamisme de l'école de Montpellier, l'animisme de Stahl, etc.

La *thèse IV* fait voir les conséquences et les fins de l'union du corps et de l'âme.

La *thèse V* donne la division des facultés qui sont, d'une part, la sensibilité représentative et la sensibilité appétitive ; d'autre part, l'intelligence et la volonté.

Les facultés sensibles se divisent en sens intime, sens externes, sens commun ou jugement sensible, imagination, mémoire sensible, appétit sensitif, faculté motrice et instinct.

L'intelligence comprend : l'intelligence directe, l'intelligence réflexe, la conscience intellectuelle, la mémoire intellectuelle.

La volonté, enfin, est considérée comme volonté nécessitée et comme volonté libre.

Les *thèses VI, VII* et *VIII* traitent de la connaissance, connaissance sensible et connaissance intellectuelle ; elles établissent, sur ce sujet, la doctrine vraie et réfutent successivement les autres systèmes.

La *thèse IX* est consacrée à la question de la volonté et de la liberté. Elle montre que la volonté répond à la connaissance intellectuelle, comme l'appétit sensitif répond à la connaissance sensible ; qu'elle a pour objet formel tout bien, comme la connaissance intellectuelle a pour objet toute vérité.

Elle prouve encore que la volonté dans l'homme est douée d'une véritable liberté de détermination dont l'objet s'étend à tous les biens particuliers, soit réels, soit seulement apparents.

Elle établit enfin la fausseté du déterminisme sous toutes ses formes, soit mécanique, soit théologique, soit psychologique.

La *thèse X* est la réfutation du matérialisme, réfutation d'une vigueur et d'une netteté admirables. Elle s'attaque à l'erreur dans toutes ses affirmations, ses exagérations et ses déductions ; elle examine et discute les questions de l'éternité de la matière, de l'unité des forces de la nature, de l'origine de la vie, du parallélisme des fonctions du cerveau et de la pensée.

Les *thèses XI* et *XII* établissent la simplicité et la spiritualité de l'âme, son origine et sa destinée.

Toutes ces thèses sont exposées et développées dans une langue précise, claire, agréable ; point de phraséologie, mais une argumentation d'une logique rigoureuse, une documentation éclairée. Maniée comme elle l'est par le R. P. Castelein, la forme syllogistique ne fatigue point par sa monotonie et sa raideur ; au contraire, elle satisfait entièrement l'esprit.

On ne trouvera pas dans le livre du R. P. Castelein, l'étude détaillée, minutieuse des facultés et des phénomènes psychiques, tels que l'association des idées, les différents aspects de la mémoire, les diverses formes de l'attention, etc., etc. On peut le regretter. On ne saurait en faire un grief à l'auteur. Celui-ci a usé d'un droit incontestable en traitant son sujet de haut, en portant ses efforts sur la démonstration des vérités fondamentales, en négligeant l'étude très intéressante, sans doute, mais plutôt accessoire, des phénomènes psychiques en particulier.

Pour vieille qu'elle soit, la psychologie scolastique, dont le R. P. Castelein est le tenant fidèle, n'est nullement réfractaire aux nouveautés ; et ce n'est pas le moindre de ses avantages que de pouvoir, sans se déformer, s'approprier les découvertes de la science et s'adapter à ses progrès. C'est ce que l'auteur démontre dans la seconde partie qui porte le titre de *Notions complémentaires* et qui se subdivise en trois sections.

La première section — *Nos organes et leurs fonctions* — est un exposé d'anatomie et de physiologie humaines.

Si l'on fait abstraction de quelques impropriétés de termes techniques, on ne saurait trop s'émerveiller de la façon magistrale avec laquelle le R. P. Castelein s'est acquitté de la mission fort ardue de résumer l'état des connaissances sur la matière. Aucune notion vraiment importante n'a échappé à son attention ; il a su, notamment, dégager tout ce qui méritait d'être signalé des innombrables travaux que ces derniers temps ont vus éclore sur la structure et la physiologie du système nerveux.

Un exposé anatomique requiert, de toute nécessité, le secours d'images : l'auteur ne l'a point négligé. Son livre est illustré de dix planches en phototypie : les figures qu'elles contiennent sont claires, démonstratives, d'une bonne exécution. Ce serait un progrès sensible si, au lieu d'être réunies à la fin de l'ouvrage, ces figures étaient intercalées dans le texte qui les concerne. On est devenu exigeant sous ce rapport : l'on ne supporte plus

guère d'avoir toujours à se reporter au bout du livre pour suivre, sur la figure, les descriptions données.

La deuxième section des notions complémentaires est la confrontation des découvertes modernes avec la psychologie traditionnelle.

L'auteur rappelle, d'abord, les principes traditionnels qu'il résume en une triple loi : loi de finalité, loi de spontanéité, loi de substantialité. A cette triple loi se rattache intimement une triple distinction : distinction entre nos affections ou nos déterminations subjectives et nos sensations ou connaissances objectives, distinction entre nos facultés spirituelles et nos facultés sensibles, distinction entre l'homme et l'animal.

Il s'agit d'établir la concordance entre ces principes et les découvertes modernes. L'auteur groupe celles-ci en sept ordres de faits et d'hypothèses qui sont : 1° la division générale des organes et des fonctions; 2° la constitution intime de la matière organique; 3° l'origine et l'évolution de l'être vivant ; 4° le principe vital et la thermodynamique ou mieux l'énergétique ; 5° le principe vital et les maladies ; 6° la nature intime de la sensation ; 7° la théorie évolutionniste de l'unité de l'espèce humaine.

L'auteur a ainsi l'occasion d'aborder tous les grands problèmes du temps présent et d'examiner les systèmes et hypothèses auxquels ils ont donné naissance. Il le fait avec une remarquable sûreté d'information, avec un sens critique des plus fermes, des plus éclairés.

La troisième section des notions complémentaires donne, de façon très attachante et très complète, l'étude des phénomènes dits occultes : spiritisme, télépathie et particulièrement hypnotisme. Ici encore, l'auteur fait preuve d'une documentation très avisée.

Ses conclusions sur la nature de l'hypnotisme, sur ses dangers, sur ses applications thérapeutiques concordent parfaitement avec les enseignements des spécialistes les plus autorisés.

Quant aux conclusions d'ordre psychologique, elles sont établies avec non moins de rigueur. L'auteur prouve qu'aucun des phénomènes de l'hypnotisme ne contredit les doctrines sur la spontanéité, l'unité personnelle, la spiritualité et la liberté de l'âme humaine.

Si j'ai trouvé le plus grand charme et le plus grand profit à lire et à étudier le savant ouvrage du R. P. Castelein, par contre, en cherchant à en rendre compte, j'ai sans cesse éprouvé le sentiment pénible de mon impuissance.

Des livres aussi substantiels, aussi compacts, aussi coordonnés que l'est celui dont je parle, sont presque fatalement défigurés par l'analyse.

Puissé-je pourtant l'avoir suffisamment signalé à l'attention de ceux qui s'intéressent aux progrès de la science et au triomphe des vérités primordiales! Ils y puiseront, avec les enseignements les plus étendus, les plus sûrs, les preuves les plus décisives en faveur des saines doctrines psychologiques.

Xavier Francotte.

XXI

Hippolyte Taine, par Lucien Roure. Un vol. in-12 de xvi-192 pages. — Paris, Lethielleux, 1904.

L'auteur étudie successivement la pensée philosophique, religieuse, politique et sociale de Taine. Il la suit dans ses diverses manifestations ; il l'éclaire à l'aide des divers travaux critiques parus jusqu'à ce jour, à l'aide aussi des deux volumes de correspondance récemment publiés. Ainsi apparaît devant nous un Taine bien vivant et authentique.

En particulier, M. Roure s'est efforcé de dégager plus nettement qu'on ne l'avait fait jusqu'ici le fond de la philosophie de Taine, par où s'explique toute son œuvre. D'un intérêt très actuel sont les pages sur sa conception de l'organisation politique et sociale de l'État moderne. Le dernier chapitre étudie un problème très captivant soulevé par des controverses récentes. Y a-t-il deux Taine : le Taine d'avant les *Origines de la France contemporaine*, le Taine d'après les *Origines* ?

L'auteur n'a pas eu la prétention de faire de son livre une apologie directe du christianisme : il devait cependant enregistrer les témoignages de Taine en faveur de la portée sociale de la religion chrétienne. Et ces témoignages, aussi éloquents que désintéressés, sont utiles à relire à l'heure présente.

Le livre est écrit tout ensemble avec sympathie et indépendance. Il a, pour les lecteurs de nos jours pressés de faire en quelques heures le tour d'une doctrine, le mérite d'être court, clair et complet.

X.

REVUE

DES RECUEILS PÉRIODIQUES

SYLVICULTURE

Du déclin (?) de la propriété forestière. — Dans ses séances du 24 avril 1903 et du 29 février 1904, la Société des Agriculteurs de France, section de sylviculture, s'est associée aux doléances d'un de ses membres, M. Carimantrand, sur l'avenir des forêts en France ; il estime, en effet, cet avenir gravement compromis par le fait de la dépréciation croissante des bois de chauffage et à charbon, produits en très grande majorité par les forêts des particuliers et des communes. Le remède indiqué par ce sylviculteur et qui a paru goûté par un grand nombre de membres de la section, consisterait à ce que l'État transformât en futaies pleines toutes ses forêts exploitées en taillis simples et composés, afin de ne pas faire concurrence aux bois de feu (charbonnette ou chauffage) des particuliers.

Il y a dans ces assertions des points on ne peut plus contestables que M. Desjobert, conservateur des forêts en retraite, a judicieusement mis en lumière devant la Société d'agriculture de l'Indre (1).

Premièrement, le remède serait illusoire attendu que l'exploitation des forêts en futaie pleine est fort loin de ne fournir que des bois d'œuvre. Les coupes de nettoiement et d'éclaircie, dans les jeunes massifs ; dans les massifs plus âgés, les branchages des arbres assez forts pour donner par leur tronc du bois d'in-

(1) *Causerie forestière*, publiée par le BULLETIN de la Société d'Agriculture de l'Indre, à Châteauroux, juillet et septembre 1904.

dustrie et de service ; un peu partout, les arbres tarés pour une cause ou pour une autre et qui, par suite, impropres à tout autre usage, sont forcément débités en bois de feu : tout cela implique, de la part des forêts de futaie pleine, une production en bourrées, fagots, charbonnette et bûches de cheminée, équivalente sinon supérieure à celle des taillis.

D'autre part il y a beau temps que le service forestier, en France, s'efforce de réaliser précisément ce que lui demande M. Carimantrand.

J'ajouterai, pour ma part, que c'est une tendance fâcheuse de recourir toujours à l'État chaque fois qu'une amélioration ou mesure salutaire est désirée ou qu'un danger quelconque peut être évité par l'initiative privée.

Il est bien certain que l'avenir, en matière de produits forestiers, n'est plus, en France comme dans toute l'Europe occidentale, à la production des bois à charbon et de chauffage de plus en plus délaissés en faveur des combustibles minéraux. Mais d'un autre côté, il n'est pas moins certain que la consommation en bois d'œuvre de toute nature (charpente, étais de mine, poteaux télégraphiques, traverses de chemin de fer, charronnage, ébénisterie, pâte à papier, etc., etc.) dépasse les ressources de la végétation ligneuse du monde entier. L'avenir des forêts, en France comme ailleurs, ne sera compromis qu'autant que les propriétaires forestiers ne sauront pas mettre leurs exploitations en rapport avec les besoins nouveaux et s'obstineront à persister dans la routine établie.

Mais si, au lieu d'exploiter leurs taillis à 18 ou 20 ans, ils les amènent peu à peu à une exploitabilité de 30 à 35 ans, par exemple ; si, quand les circonstances le permettront, ils transforment peu à peu leurs taillis en futaies, même à courtes révolutions, ne fussent-elles que de 60 ans — ce qui, ainsi que l'a fait observer M. Bouquet de la Grye, peut se réaliser assez économiquement — alors les forêts reprendront leur valeur et l'accroîtront. Ce n'est pas le bois qui est en décadence, c'est seulement son emploi comme chauffage. Et puisqu'il en est ainsi, que les propriétaires, au lieu de jeter incessamment sur le marché une marchandise que le public délaisse de plus en plus, se décident à lui fournir celle qu'il demande et demandera de plus en plus aussi. Sans cela, les prévisions pessimistes de M. Carimantrand se réaliseront malheureusement. Mais il dépend des intéressés, et des intéressés seuls, qu'il en soit autrement.

De l'éclaircie dans les bois des particuliers. — Une éclaircie en forêt est une opération très importante, nécessaire en certains cas, mais délicate, qui, mal faite, peut entraîner à de sérieux inconvénients et qui, omise là où il eût fallu la faire, ne cause pas un moindre préjudice aux massifs forestiers qui en eussent dû être l'objet.

Il n'est guère possible de donner des règles précises et détaillées sur la manière de la pratiquer. Suivant qu'il s'agit de taillis ou de massifs de futaie, suivant l'âge de ceux-ci et encore suivant les essences qui les composent, la manière de faire devra varier. C'est surtout affaire de coup d'œil. Il s'agit en tout cas de dégager les sujets les plus vigoureux et présentant le plus d'avenir, mais en même temps d'éviter de découvrir le sol.

Dans les forêts gérées par l'Administration publique, ces opérations se font généralement assez bien, parce que cette administration dispose d'un personnel technique et expérimenté. Il arrive parfois, chez les particuliers, qu'une éclaircie trop forte dans un taillis trop jeune aura été plus nuisible qu'utile, ou qu'une autre trop hâtive et trop brusque dans un massif résineux jusqu'alors indemne en aura compromis l'avenir (1). D'autre part, supprimer toutes éclaircies dans un massif de futaie, c'est renoncer à en obtenir des arbres de fort diamètre et de haute valeur.

L'opération du reste variera, comme on l'a dit, suivant la nature des arbres composant le massif. Si le peuplement se compose exclusivement ou principalement de hêtre, on pourra éclaircir plus fortement, parce que la cime des arbres desserrés s'élargira promptement et ne tardera pas à recouvrir le sol dégagé. Cependant, si le dégagement risquait d'être trop fort, mieux vaudrait maintenir même des sujets dominés plutôt que de s'exposer à faire une trouée dans le massif.

S'agit-il non plus d'une essence unique ou dominante, mais d'un mélange de feuillus divers sans prédominance bien sensible des uns sur les autres, l'éclaircie devra être dirigée de manière à dégager les essences précieuses comme chêne, frêne, orme, hêtre, cormier, etc., aux dépens des essences inférieures, sans trop faire la guerre toutefois aux *morts-bois,* arbrisseaux et arbustes montant peu et abritant le sol, tels que houx, genévriers, cornouillers, viorne, sureau, etc., qu'on est ordinairement trop porté à faire disparaître.

(1) Cf. Ch. Broilliard, Bulletin de la Société centrale forestière de Belgique, janvier 1904.

Dans un massif qui serait composé principalement de chêne, l'éclaircie doit se faire en dégageant fortement les plus beaux brins de cette essence pour leur permettre de développer leur cime et de s'étendre en diamètre en même temps qu'en hauteur. Ne pas craindre, en pareil cas, de sacrifier des brins d'essence de moindre valeur ou même de chêne moins bien venant : on diminuera ainsi la concurrence, nuisible aux sujets de choix, des cimes et des racines.

Le frêne, le robinier, les peupliers, le bouleau, l'orme, préfèrent un état clair à un état serré. Ce dernier état convient mieux au charme ; et quand celui-ci croît en mélange avec le chêne, il sera avantageux de le diriger de manière à lui faire former un *sous-étage*, permettant au chêne de s'élever au-dessus, le sol restant protégé par l'épais feuillage du charme.

Quant aux résineux ou conifères, exception faite pour le pin maritime, ils réclament, bien plus que les feuillus, un état serré. D'autre part, comme, à l'inverse des feuillus d'essence dure, chêne et frêne, par exemple, dont le bois acquiert d'autant plus de qualité que la croissance en a été plus rapide, les résineux ont généralement la propriété contraire, il faut tenir compte de cette particularité en n'éclaircissant qu'avec une grande modération ; un peu plus fortement cependant pour le pin sylvestre et surtout pour le pin maritime que pour le sapin, l'épicéa et le mélèze; ce dernier, à la cime toujours pyramidale, au feuillage léger et non persistant, supporte mieux un état plus serré ; sous son couvert léger, croissent en abondance framboisier, airelle, myrtille, plantes herbacées diverses, qui maintiennent suffisamment la fraîcheur du sol.

Tels sont, très succinctement résumés, les renseignements sur les éclaircies que donne M. Charles Broilliard, dans le Bulletin précité de la Société centrale forestière de Belgique.

La déforestation et le régime des cours d'eau. — Tout a été dit sur l'influence qu'exercent les forêts, les masses boisées sur le régime des cours d'eau. Cependant, il n'est pas sans intérêt de constater de temps à autre la vérification de ce fait qui paraît bien être une loi de l'économie physique de notre globe.

Un exemple fort remarquable en est donné par des observations que firent, dans l'État de Wisconsin, MM. Schriner et Copeland. Nous allons l'indiquer, d'après l'exposé qu'en a donné la Revue Scientifique.

C'est dans le district de Monroe que l'observation a été faite.

Ce district se trouve, paraît-il, à la limite de l'ancienne forêt, antérieure à la colonisation, et de la région des prairies. Alors les rivières coulaient à pleins bords avec un régime régulier et constant.

Le district qui nous occupe se compose de quatre communes. La carte du pays, relevée avec soin, a permis de constater que 17 p. c. environ de sa superficie appartient à l'ancienne région des prairies ; le surplus, soit 83 p. c., a été mis en culture et en pâturages aux dépens de la forêt. De ces 83 p. c. de forêt, 56 p. c. ont été détruits il y a plus de 70 ans, soit vers 1830, et 27 p. c. de 1880 à 1887.

Or, jusqu'en 1887, les rivières avaient plus ou moins baissé, elles avaient toutefois continué à couler. Mais, à partir de cette dernière époque, le mal empira : 40 kilomètres de rivière sont maintenant à sec, les uns en été seulement, les autres durant toute l'année. Quant aux cours d'eau qui n'ont pas totalement ou partiellement tari, leur débit a considérablement diminué et ne peut plus actionner les moulins.

D'où l'on voit que, en économie rurale comme en toutes choses, la vérité pratique est dans la modération, au delà de laquelle commence l'abus avec ses suites néfastes.

D'autre part, d'après une conférence faite à Londres par le prince Kropotkine, un des explorateurs du centre de l'Asie, et reproduite par le Bulletin de la Société d'études coloniales, l'évaporation dépasserait de beaucoup, dans l'Asie centrale, le volume d'eau fourni par les pluies. De là, accroissement de l'étendue des terres désertiques et restriction correspondante de l'agriculture. Le conférencier estime que la disparition des forêts " qui a exercé une influence si fâcheuse sur la Chine „ ne suffit pas à expliquer le desséchement des lacs et des fleuves de cette vaste région. Il pense que ce desséchement graduel est un phénomène tellurique général et qui est comme la contrepartie de la dernière période glaciaire à laquelle il a succédé.

Il y aurait beaucoup à dire sur cette dernière opinion qui demanderait des preuves autrement générales et autrement concluantes qu'un phénomène après tout local bien qu'occupant une très grande étendue. Quoi qu'il en soit, et tout en admettant, avec le prince Kropotkine, le caractère géologique du phénomène, il n'en est pas moins vrai que la destruction des forêts en accélère considérablement les effets et que leur reconstitution sur une grande échelle en atténuerait, d'une manière non moins considérable, la réalisation.

Influence de l'humidité sur la croissance des arbres. — D'un mémoire fourni à l'Académie des Sciences par M. Eberhardt, il résulte que l'humidité atmosphérique favorise la croissance en hauteur et en volume des arbres, tout en diminuant leur résistance et leur rigidité. Le limbe des feuilles et les stipules prennent en même temps un plus grand développement.

M. Eberhardt a constaté cet effet de l'air humide sur la plante par des expériences personnelles, mais il a pu en corroborer la valeur par l'observation directe. C'est le territoire de Long-Island, cette île située au proche voisinage et à l'est de New-York, qui a fourni à ce savant l'occasion de voir, réalisées dans la nature, les modifications organiques qu'il avait obtenues artificiellement.

Cette île, longue et étroite, est, plus que d'autres régions, sous l'influence de l'humidité venant du large tout autour d'elle. La hauteur des arbres y est, à pareilles essences, beaucoup plus grande ; les feuilles et les stipules, plus larges. L'appareil radiculaire, beaucoup plus réduit, trace à la surface du sol et s'enfonce peu, malgré que la terre soit meuble et profonde.

D'autre part, en raison des saisons extrêmes de cette île, qui ne connaît ni printemps ni automne, mais où un été torride succède brusquement à un hiver rigoureux, les arbres sont munis d'un appareil protecteur très puissant et tout à fait comparable à celui des essences croissant dans des climats secs. Durant l'extrême et humide chaleur de l'été, les arbres prennent sous cette double influence un développement extraordinaire ; puis, dès que se manifestent les premiers symptômes de l'hiver, ils s'arment en vue du froid intense qui s'annonce, multipliant leurs moyens de défense, prenant ainsi des caractères nouveaux qui sembleraient en contradiction avec ceux qu'ils avaient acquis durant la saison chaude (1).

La lune a-t-elle ou n'a-t-elle pas d'action sur la sève des arbres? — La question si fréquemment agitée de l'influence ou de la non-influence du cours de la lune sur l'exploitation des bois a été remise sur le tapis à la Société des Agriculteurs de France, section de sylviculture, séance du 5 mars 1904.

Un membre fit observer que le bois de frêne destiné à la fabrication des échelles de peintre est toujours coupé en sève, tandis que pour l'abatage des peupliers on ne s'occupe pas de la lune. Un autre assura que l'on considère en Provence comme un fait

(1) Cf. les COMPTES RENDUS, séance du 25 avril 1904.

d'expérience que, lorsqu'un arbre est coupé " en mauvaise sève „ (?), il se pourrit rapidement, et que les arbres feuillus doivent être abattus avec la lune montante, les arbres à feuilles persistantes avec la lune décroissante.

A quoi M. le Dr Métivier, président de la section, répondit en renvoyant aux travaux de M. Mer qui ne croit pas à l'influence de la lune et attribue la vermoulure à la présence de l'amidon non encore éliminé par la sève descendante.

L'influence sélénique sur l'exploitation des bois est un préjugé populaire très répandu. Mais ce qui prouve son peu de valeur, au moins dans nos climats tempérés, c'est que les partisans de cette influence ne sont pas d'accord entre eux sur l'âge de la lune le plus propice à cette fin.

Cependant il doit y avoir une cause à ce préjugé, cause lointaine et dont le souvenir se sera perdu.

On a fait remarquer que, sauf des cas rares et exceptionnels, l'exploitation des bois dans la zone tempérée se fait en hiver lorsque tout mouvement de la sève est arrêté. Dans de telles conditions, il est bien clair que l'action de la lune, si manifeste sur les marées par exemple, ne saurait avoir d'influence sur une sève figée ou coagulée et sans mouvement.

M. Henri de Parville a fait judicieusement remarquer que dans la zone intertropicale, où la sève est en mouvement toute l'année et où par conséquent les arbres ne peuvent être exploités qu'en sève, l'attraction lunaire aurait une influence très appréciable sur la qualité du bois, suivant l'âge de la lune où il serait abattu.

Nous n'avons pas été à même de vérifier cette assertion que son auteur appuie d'ailleurs sur des considérations probantes. M. l'abbé Moreux, qui s'est voué à l'étude de la constitution du Soleil et de la météorologie solaire, attribuerait plutôt à l'action de l'astre-roi ce que M. Henri de Parville attribue à celle de notre satellite.

Mais enfin il ne serait pas impossible — et ce serait une question intéressante à étudier — qu'une certaine influence sidérale s'exerçât sur la sève montante ou descendante des arbres, influence qui naturellement passerait inaperçue là où l'on n'exploite que pendant l'arrêt de la sève. Et cela expliquerait les expressions de *bonne sève* et de *mauvaise sève* employées plus haut.

Peupliers remarquables. — Le Bulletin de la Société centrale forestière de Belgique signale l'existence, à Samson près Andenne (prov. de Namur), de trois peupliers du Canada âgés de

soixante ans et de dimensions remarquables. Sur une hauteur de plus de 20 mètres, ils mesureraient respectivement, à $1^m,50$ du sol, les circonférences de $3^m,46$ — $3^m,50$ — et $3^m,56$. Leur propriétaire en aurait refusé 1200 francs au marchand de bois qui les eût achetés à ce prix (1).

Examinons un peu quel volume pourraient fournir ces trois arbres et quel prix en serait revenu le mètre cube, au chiffre offert.

Si des circonférences données au bas des arbres (soit à $1^m,50$ du sol), nous déduisons un cinquième, ce qui pour des feuillus de 20 mètres de hauteur représente la décroissance ordinaire, les circonférences mesurées correspondraient aux circonférences moyennes suivantes : $2^m,77$ — $2^m,80$ — $2^m,85$.

La surface du cercle étant πR^2 et R étant égal approximativement à un sixième de la circonférence, nous aurons, pour chacune de ces circonférences, les surfaces $0^{m^2},6644$ — $0^{m^2},6832$ — $0^{m^2},7084$, lesquelles, multipliées par la hauteur 20 des arbres, nous donnent les volumes $13^{m^3},288$ — $13^{m^3},664$ — $14^{m^3},168$ dont le total est $41^{m^3},120$, ce qui représente un peu plus de 29 francs au mètre cube.

Près de 30 francs pour prix du mètre cube de peuplier peut paraître un chiffre excessif. Il est vrai que les arbres étaient âgés de soixante ans : mais ce n'est pas tant l'âge qui donne de la valeur au bois que les dimensions. Or, il est probable que les dimensions de nos trois peupliers n'avaient pas reçu un développement bien considérable à partir de quarante ans. D'où l'on peut conclure que le propriétaire eût mieux fait de vendre ses peupliers, même à un prix un peu moindre, vingt ans plus tôt.

Graine et semis de pin sylvestre. — Parmi les conifères ou arbres résineux, le genre Pin, *Pinus*, L., est le plus riche en espèces ; et, parmi celles-ci, l'espèce *Sylvestris* est la plus abondante en variétés et races diverses. Du *P. haguenensis*, Lond., présentant une cime large, des branches étalées, une verdure grisâtre, une tige parfois contournée, au *P. rigensis* ou Pin de Riga offrant une tige parfaitement droite, des branches nettement ascendantes, souvent même pressées contre le tronc à la manière de celles du chêne pyramidal ou du peuplier d'Italie et régulièrement verticillées, un feuillage d'un vert bleuté, la distance est grande. Cette distance ne se manifeste pas seulement

(1) Bulletin du 15 avril 1904.

par l'aspect extérieur, mais aussi par la qualité du bois, comme par les exigences culturales.

Le pin sylvestre cultivé en Auvergne paraît, comme le pin de Riga, bien supérieur au pin sylvestre commun ou ordinaire, qu'il soit qualifié de haguenien, d'écossais ou de champenois. De plus, les graines provenant des pins sylvestres d'Auvergne se font remarquer par une valeur germinative supérieure à celle des autres pins sylvestres qui croissent en France.

Mais cette supériorité de valeur germinative n'est pas le seul avantage que présente cette graine. Il est un fait bien reconnu ; c'est que, tant valent les arbres ayant fourni leur graine, tant valent les arbres issus de cette graine. La Revue des Eaux et Forêts en donnait, au printemps dernier, par la plume de M. G. Fabre, une preuve bien significative.

Il existe, sur les arides rocs jurassiques des Causses de la Lozère, une race de pin sylvestre aux sujets buissonnants et rabougris qui, même âgés de cent ans, ne paraissent guère que des broussailles, leurs racines ne puisant entre les fissures des rochers qu'une insuffisante nourriture, leurs maigres cimes étant exposées aux multiples périls des longues sécheresses, des vents brûlants, de la voracité des chenilles, et par dessus tout d'un pâturage intensif. Ils vivent cependant et produisent même des cônes fertiles.

Or, de 1878 à 1885, le service des reboisements ensemença plus d'un millier d'hectares de terrains granitiques dans le périmètre de La Cèze, département du Gard, avec de la graine de pin sylvestre provenant d'une sécherie (1), située à Mende, chef-lieu de la Lozère. Les peuplements ainsi créés ont aujourd'hui de vingt à vingt-cinq ans, mais présentent généralement la plus chétive apparence : tige rabougrie, flèche terminale écrasée, aiguilles très courtes, fructification précoce, trop abondante et composée de cônes minuscules, tous les caractères enfin du pin des Causses. Et cependant, çà et là, se dressait au sein de ce gaulis buissonnant un sujet élancé, vigoureux, d'une parfaite rectitude, à la flèche terminale svelte, aux aiguilles allongées, " vrai type du pin d'Auvergne ".

Quelques graines de ce pin s'étaient-elles trouvées mêlées à celles des pins des Causses ? Ou bien se présentait-il là un cas

(1) On appelle *sécherie* un établissement disposé pour extraire des cônes d'arbres résineux les graines qui y sont contenues, en soumettant ces cônes à une chaleur sèche qui a pour effet d'écarter et de soulever leurs écailles.

d'atavisme exceptionnel? Peu importe, d'ailleurs. Le fait n'en démontre pas moins que la provenance de la graine a une influence considérable sur la qualité des arbres qu'elle doit produire. Si la nature du sol était seule en jeu, les graines du Pin des Causses, semées dans un terrain plus favorable, auraient donné des plants généralement bien conformés et vigoureux; or, ceux-ci n'étaient que la rare exception : c'est donc que les graines provenant d'arbres de mauvaise qualité donnent des arbres de mauvaise qualité. Il en va dans le règne végétal comme dans le règne animal.

Il est donc de la plus haute importance, quand on veut procéder à des semis forestiers, de n'employer que des graines de bonne provenance; et c'est là une difficulté. En ce qui concerne les cônes de pin, les récolteurs ont tout avantage à les recueillir sur des arbres bas et rabougris plutôt que sur les arbres élancés et bienvenants. Ainsi les cônes d'où provenait la graine dont nous venons de parler avaient été recueillis sur les arbres bas de branches du Causse de Sauveterre, à 15 kilomètres à l'ouest de Mende; pour se procurer des cônes produits par de beaux arbres, les récolteurs auraient dû gravir des pentes abruptes et de hautes cimes pour atteindre les pineraies granitiques du haut Gévaudan; en sorte que, à temps égal, ils récoltaient, au bas du Causse, le double de ce qu'ils eussent récolté dans les massifs en bonne végétation.

Il faudrait, quand on fait récolter des cônes en vue d'en extraire la graine pour des semis, surveiller les récolteurs et exiger qu'ils ne recueillent les cônes que sur des arbres de belle venue, de bonne conformation, d'allure saine et vigoureuse, en négligeant ceux des strobiles qui ne paraîtraient pas arrivés à une maturité suffisante.

Le sapin et l'épicéa comparés. — Le sapin et l'épicéa communs (*Abies pectinata*, D. C., et *Picea excelsa*, Link) sont deux arbres de montagne. Le premier descend de lui-même jusqu'à 400 mètres d'altitude dans les Vosges, à 600 mètres seulement dans le Jura et les Alpes occidentales; le second ne descend pas, naturellement, plus bas que 600 mètres dans les Vosges et le Jura, et 800 mètres dans les Alpes. Mais, encore que leur bois offre moins de qualité, transplanté à des altitudes moindres, il y peut donner néanmoins des produits très rémunérateurs.

Il faut au premier un sol suffisamment profond pour qu'il puisse y faire pivoter sa racine principale. Sur un sol à couche végétale

peu épaisse reposant sur la roche (à moins de fréquentes fissures verticales dans le sous-sol), il croîtrait mal et verrait bientôt sa cime se couronner au sommet. Au contraire l'épicéa, dont la racine essentiellement traçante pivote peu ou point, s'accommode aisément d'un tel sol. Plus que le sapin, il est exposé aux attaques des insectes et des parasites cryptogamiques ; plus que le sapin encore, il est sujet à pourrir au pied, et la faible profondeur de son enracinement le rend, bien plus facilement que le sapin, victime des coups de vent et des orages. Par suite, il demande à croître en massif plus serré.

Jusqu'à vingt ans la croissance de l'épicéa est plus rapide que celle du sapin. Élevé en vue du défibrage pour la pâte à papier, il peut donner à un âge peu avancé des produits rémunérateurs. Le sapin qui, à partir de vingt ans et jusqu'à quatre-vingts, croît plus rapidement que l'épicéa, est plus propre à être élevé en vue de la charpente. L'épicéa, en tant que bois d'œuvre, est de préférence débité en planches.

A partir de quatre-vingts ans la croissance des deux essences est à peu près la même, avec tendance, chez l'épicéa, à un accroissement supérieur (1).

En plaine et dans les basses altitudes, surtout dans les sols humides que l'épicéa ne craint point, cette essence ne produit qu'un bois mou, spongieux et de très médiocre qualité comme bois d'industrie. Mais elle peut fournir d'excellente pâte à papier; et comme ce produit est toujours de plus en plus demandé, l'on voit qu'il est possible de tirer bon parti de l'épicéa, même à de faibles altitudes où il ne se propagerait pas de lui-même.

Dans les premières années, le jeune plant d'épicéa, comme celui du sapin, a besoin d'abri ; mais cette similitude de tempérament n'est que momentanée. Bientôt l'épicéa réclame l'air et la lumière au-dessus de sa cime bien que bénéficiant d'un abri latéral, tandis que jusqu'à sa vingtième année le sapin demande à être entièrement abrité. Il offre en outre cette particularité unique, sa croissance se trouvant arrêtée par un couvert impénétrable à la lumière même tamisée du soleil, qu'il ne dépérira pas, restera stationnaire, dût ce couvert inopportun durer cinquante ans. Mais qu'au bout de cinquante ans par exemple, cet obstacle vienne à disparaître, aussitôt le sapineau, qu'on aurait pu croire un avorton à jamais condamné, partira, prendra

(1) Guinier, BULLETIN de la Société forestière de Franche-Comté, septembre 1903.

son élan et formera, avec un retard de cinquante ans il est vrai, un arbre aussi bien venant, d'aussi belles dimensions que s'il n'eût jamais été arrêté (1).

Le sapin commun en Belgique. — Le Bulletin de la Société centrale forestière de Belgique publie, dans sa livraison de septembre 1904, d'intéressantes observations à propos d'un massif de sapin commun, dit sapin argenté, *Abies pectinata*, D. C., qu'il a découvert dans une forêt particulière à Anthée-Miavoye, non loin de Hastière-Lavaux (prov. de Namur, arr. de Dinant).

Ce massif comprendrait des arbres pouvant avoir 50 à 100 ans, et au-dessous d'eux des semis naturels qui avaient levé sous un sous-bois d'essences feuillues. Ces arbres mesuraient, les plus jeunes $1^m,30$ à $1^m,60$ de circonférence à hauteur d'homme (soit $0^m,43$ à $0^m,53$ de diamètre), les plus âgés $1^m,92$ de tour ou $0^m,64$ d'épaisseur, avec des fûts très droits et d'une décroissance de diamètre à peine sensible.

M. le garde général Richir, auteur de ces observations, plaide judicieusement, à cette occasion, l'emploi du sapin commun dans les travaux de reboisement de son pays et surtout pour le repeuplement des clairières. Aux latitudes septentrionales, le sapin pectiné descend facilement jusqu'à la plaine ; or la Belgique est comprise entre les parallèles 50° et 51°25′, à peu de chose près ; ce sont là des latitudes déjà septentrionales. D'ailleurs le sapin prospère très bien dans certaines parties de la Normandie, province moins septentrionale que la Belgique et moins montagneuse. M. Richir a raison de dire qu'aux altitudes de 200 mètres et au-dessus, le sapin peut prospérer en Belgique ; nous ne serions même nullement surpris qu'il prospérât plus bas encore. Le seul écueil à redouter pour l'*A. pectinata* aux basses altitudes réside dans les gelées printanières : partout où l'on a la possibilité de préserver les jeunes plants de ce danger, au moins pendant les années de la jeunesse, on peut sans crainte propager le sapin. Cet arbre est indifférent à la nature minéralogique du sol, pourvu qu'il puisse y enfoncer le pivot de sa racine ; il ne redoute que les terres marécageuses et les sables secs et sans cohésion.

L'emploi du sapin serait très indiqué dans les taillis médiocres et mal venants. Sous l'abri des cèpées des feuillus, il trouverait,

(1) On pourrait comparer sous ce rapport l'if (*Taxus baccata*, Lin.) au sapin, quoique pas d'une manière tout à fait exacte. L'if, dont la croissance est d'ailleurs très lente, n'est pas gêné dans celle-ci par le couvert des autres arbres.

jeune plant, l'abri dont il a besoin contre les ardeurs du soleil et contre les gelées tardives.

En mélange avec le hêtre, une futaie hêtre et sapin offre d'excellentes conditions de végétation. Cependant, en France, on pourchasse le hêtre dans les sapinières ; mais c'est pour un motif économique et non cultural, la valeur marchande du bois de sapin étant très supérieure à celle de son compagnon.

Dans les friches et landes couvertes de broussailles, de morts-bois épineux, de ronces et autres végétations sous-ligneuses, de jeunes plants de sapin prospéreraient sous l'abri de ces plantes frutescentes, et devenus plus forts et plus grands finiraient par les étouffer sous leur couvert et au grand profit de la couche superficielle du sol.

La révolution généralement adoptée dans les montagnes du Jura français pour les futaies de sapin est celle de 120 ans. Mais dans beaucoup de cas, il a été reconnu que l'âge de 140 ou 150 ans se rapporterait mieux avec l'époque du plus grand accroissement moyen de cette essence.

M. Richir observe, avec grande raison, qu'il ne faut pas essayer d'introduire le sapin en terrain nu. Cet arbre, en effet, durant toute la période de la jeunesse réclame impérieusement de l'abri.

L'exposition plein nord est celle qui lui convient le mieux.

Le sapin de Numidie, *Abies numidica*, De Launoy, désigné aussi sous le nom de sapin d'Algérie ou encore Pinsapo des Babors, n'a été que depuis peu exactement déterminé comme espèce.

L'éminent professeur A. Mathieu, dans la 3me édition de sa *Flore forestière* (1877) et, avant lui, Carrière, dans son *Traité général des conifères* (1867), considéraient ce sapin comme une variété du Pinsapo espagnol, la variété algérienne, et, adoptant la dénomination du botaniste Cosson, en faisaient un *Abies pinsapo, var. Baboriensis*, croissant en mélange avec le cèdre de l'Atlas et quelques ifs dans les Babors, montagnes de la Kabylie orientale, la Numidie des anciens, et aux altitudes de 1600 à 2000 mètres. L'indication de l'habitat de l'arbre est exacte ; mais son attribution spécifique au sapin d'Espagne est repoussée aujourd'hui par beaucoup de botanistes, notamment par M. Trabut dans la Revue générale de Botanique (I, 1889, p. 399).

M. Paul Fliche, ancien professeur à l'École forestière de Nancy où il avait succédé à Mathieu, a pu se procurer des graines du

sapin des Babors recueillies dans le pays même, les a semées partie dans le jardin de l'École, partie dans la pépinière domaniale de Bellefontaine, non loin de Nancy, et a suivi pendant plusieurs années consécutives les jeunes plants provenant de ces graines. Il a pu les comparer avec ceux, plus âgés, qui avaient été semés soit par Mathieu lui-même, soit par d'autres, dans divers *arboretums;* enfin, par correspondance avec l'agent forestier local, M. Fontaine, inspecteur à Bougie, il a pu se renseigner très exactement sur la floraison de l'*Abies numidica*, la production, la dissémination et la germination de la graine (1). En outre, deux échantillons de provenances différentes du bois de cet arbre lui ont permis d'en étudier la structure et de la comparer à d'autres.

A leur sortie de terre, les plantules se présentent avec 5 ou 6 feuilles séminales (très rarement 4 ou 7, plus ordinairement 6), droites ou légèrement falquées et atteignant jusqu'à 35 millimètres de longueur. Elles persistent vivantes pendant la seconde année, verdoyantes encore mais mourantes ou se desséchant pendant la troisième, quoique persistant rarement jusque-là. Quant aux feuilles normales, dès cette troisième année elles atteignent leur longueur définitive, soit 15 à 18 millimètres, avec une pointe aiguë ou obtuse, parfois légèrement échancrées, peu piquantes, les bords s'infléchissant et s'arrondissant vers le sommet. Les tiges de 4 ans ont une longueur variant de 51 à 155 millimètres à partir du collet, et sans compter une racine pivotante pouvant atteindre jusqu'à 390 millimètres : ce pivot est accompagné à sa naissance de plusieurs racines latérales assez longues et traçant horizontalement.

Sans entrer plus avant dans la description des jeunes plants, disons seulement que, dès l'âge de 4 ans, ils présentent les caractères définitifs de l'essence, et que leur transplantation faite avec soin paraît réussir facilement. Le sapin de Numidie semble offrir beaucoup d'affinité avec son congénère de Cilicie, à en juger du moins par la comparaison de plants de 4 à 5 ans de l'une et l'autre essence. Même mode d'enracinement ; moins de tendance sur le *Cilicica* à grande abondance de bourgeons latéraux que sur le *Numidica ;* ramification moins régulière sur le premier que sur le second. Celui-ci paraît très résistant au froid ; soit à l'École forestière de Nancy, soit à la pépinière de

(1) Cf. le BULLETIN de la Société forestière de Franche-Comte et Belfort, septembre 1903 : *Notice sur le sapin de Numidie. Fructification, jeune plant, bois,* par M. P. Fliche.

Bellefontaine située en un climat très rigoureux, soit à l'Institut forestier de Vallombrosa, à 950 mètres d'altitude, les semis et jeunes plants d'*Abies numidica* ont vaillamment résisté aux froids de rudes hivers. L'*A. cilicica,* dans la pépinière de Bellefontaine a, malheureusement, souffert beaucoup, pendant ses premières années, des froids tardifs du printemps qui en gelaient les jeunes pousses ; l'*A. numidica,* au contraire, a mieux résisté aux gelées printanières.

Quant au bois de cet *Abies,* il a à peu près la même structure que le type du genre, l'*A. pectinata* ou sapin commun, avec certaines différences cependant. Les couches concentriques annuelles de l'*A. numidica* révèlent une grande inégalité de croissance, et cela par périodes : tantôt une série montre des anneaux relativement larges, tantôt à la suite une série de couches très minces. Cela dénote de grandes variations de température sévissant par périodes, ce qui est d'ailleurs conforme à ce que l'on connaît du climat de l'Algérie.

Mais, à notre avis, il n'y a pas là un véritable caractère spécifique. Introduisez l'espèce dans un climat plus régulier, et cette irrégularité dans la croissance ne se manifestera plus. D'ailleurs la variabilité des accroissements annuels observée sur l'*A. numidica* s'observe également sur les cèdres croissant en mélange avec lui, comme l'observe l'auteur de la *Notice.*

Il nous a semblé que ce sapin, dont la fructification est annuelle et abondante tous les deux ans, pourrait offrir quelqu'intérêt au point de vue de la naturalisation dans les climats froids et tempérés. M. du Pré de Saint-Maur a fait connaître à la Société des Agriculteurs de France, séance du 5 mars 1904, qu'il a planté, en Morvan, quelques pieds de cette essence qui s'y comportent d'une manière satisfaisante.

Un président... de sapins. — Il y avait naguère, dans l'une des belles sapinières domaniales du canton de Levier, département du Doubs, un sapin superbe auquel ses remarquables dimensions avaient fait donner le nom de *Président.* Il mesurait, à hauteur d'homme (soit à $1^{m},50$ du sol), $4^{m},70$ de circonférence ou $1^{m},50$ de diamètre, et, à la base même, $7^{m},20$ (diamètre : $2^{m},30$). Sa hauteur était de 50 mètres, et sa circonférence au milieu, c'est-à-dire à 25 mètres du sol, était encore de $2^{m},57$.

Comme un Roi au milieu de sa cour ou, si l'on veut, comme un Président au sein de son conseil, cet arbre magnifique était entouré d'un grand nombre d'autres sapins de volume moindre

qui le protégeaient sans doute contre les intempéries. Car, à la suite d'un ouragan qui avait, en 1897, renversé un certain nombre de ses compagnons, le Président ne tarda pas à donner des signes manifestes de dépérissement. En sorte que, peu d'années après, en 1903, le service forestier dut le comprendre dans la vente d'une coupe de 459 arbres.

Le marchand adjudicataire de l'ensemble l'a estimé, après abatage, à 143 solives, mesure locale. Si on en évalue le volume d'après la formule $\pi R^2 \times H$ (R étant déterminé par la circonférence au milieu de la hauteur), on trouve un volume de 28^{m3}, 450. Or, comme il était évalué à raison de 5 fr. la solive, soit 715 fr. (plus 30 fr., prix de 6 stères de chauffage provenant des houppées et des branchages, à 5 fr. le stère ; en tout 745 fr.) pour l'ensemble, cela représente un peu plus de 25 fr. le mètre cube, prix modeste assurément pour un si bel arbre. Néanmoins, tous frais déduits d'abatage (26 fr.) et de transport sur le marché (106 fr.), cet arbre a procuré à son acquéreur la somme de 613 fr.

On cite, dans le département du Jura, forêt de La Joux, un autre sapin plus remarquable encore et dont on ne dit pas qu'il donne des signes de dépérissement. Il aurait une hauteur de 50 mètres dont 28 sous branches, et une circonférence de 5 mètres à hauteur d'homme. Son âge est évalué à 220 ans (1).

Vitalité de graines et alternance d'essences. — Le même numéro du Cosmos (12 mars 1904) cite des observations assez curieuses de M. Brandicourt, sur la longue vitalité de certaines graines. Cet auteur rappelle qu'un violent incendie avait détruit, en 1746, une portion considérable de la forêt de Neufchâteau, en Poitou, peuplée exclusivement de hêtre. Or, après enlèvement des arbres carbonisés ou desséchés, la partie incendiée, abandonnée à elle-même, ne tarda pas à se couvrir de broussailles diverses, ce qui n'a rien de surprenant ; mais sous cette végétation parasite il ne tarda pas à surgir un jeune peuplement de chêne, espèce, ajoute l'auteur, « qu'on n'y avait jamais vue et qui n'existe pas dans les environs ».

Ce dernier point demanderait à être contrôlé ; car il a bien fallu que les glands ayant donné naissance à ce semis naturel de chêne fussent venus de quelque part.

En Seine-et-Marne, des coupes de hêtre ayant été exploitées à blanc, le sol se couvrit d'abord de frambroisiers et de fraisiers,

(1) Cosmos, 12 mars 1904.

particularité qui n'est pour surprendre aucun forestier. Mais ce qui est plus intéressant, c'est que, sans le secours de l'homme, cette végétation herbacée et frutescente fut bientôt couverte par un peuplement complet de hêtre.

Nous-même avons eu l'occasion d'observer, dans quelques sapinières et pessières du Jura, sous de hauts peuplements de sapin des semis naturels d'épicéa ou pesse, et sous de hautes futaies d'épicéa des semis naturels de sapin. Ceci s'explique par la présence de massifs des deux essences voisins les uns des autres. Mais le cas de peuplement de chêne succédant, spontanément et sans le concours de l'homme, à des massifs de hêtre exploités à blanc, est plus remarquable, vu la lourdeur du gland que le vent ne peut transporter au loin et la présence depuis un plus ou moins grand nombre d'années de cette graine dans le sol, où elle aurait pu être apportée par des oiseaux granivores tels que corbeaux, geais ou pies.

Substitution graduelle des résineux aux taillis dans le Morvand. — Le Morvand est une région montagneuse assise sur une partie des départements de l'Yonne, de la Nièvre, de la Côte-d'Or et de Saône-et-Loire ; elle forme une sorte d'îlot granitique et porphyrique entourée au nord, à l'est et au nord-ouest par le jurassique, au sud et au sud-ouest par le tertiaire supérieur et moyen. C'est une région très boisée mais où l'essence de beaucoup dominante est le hêtre qui est soumis fréquemment à un mode d'exploitation assez bizarre appelé *furetage*. Il consiste à passer trois fois sur la même coupe pendant la durée de la révolution, en enlevant chaque fois un tiers seulement des cépées. Supposons un taillis de hêtre aménagé à 24 ans : chaque coupe sera exploitée en trois fois, de huit en huit années, en prenant la première fois sur chaque cépée, les brins âgés de 24 ans formant le tiers de la cépée, et y laissant un tiers âgé de 16 ans et un tiers âgé de 8 ans.

On n'obtient guère, par ce mode d'exploitation, que du bois de chauffage. Or, en Morvand, comme presque partout en France, les bois de feu sont de plus en plus délaissés ; et il y a urgence, si l'on veut ne pas voir le capital forestier décliner de plus en plus, de lui faire fournir des produits plus en rapport avec les besoins de la consommation.

Un Morvandeau, M. Roy, a présenté à la Société des Agriculteurs de France (1) un mémoire intitulé *Transformation fores-*

(1) Session de 1904, 5e fascicule.

tière du Morvand, dans lequel il propose de remplacer le hêtre par les résineux partout où ce sera possible, en tout cas de mélanger au hêtre d'autres essences. Il s'autorise de l'exemple de la Belgique où certains propriétaires ont fait, assure-t-il, d'excellentes affaires en garnissant de mauvais terrains avec des conifères qu'ils coupent jeunes et qu'ils vendent avantageusement comme perches à houblon ou étais de mines. Pareillement, en Sologne, les pins tant sylvestres que maritimes, laricios ou autres, fournissent abondamment des bois pour les mines du Nord. Dans ces mines, les besoins en cette nature de marchandise sont constants, et le Morvand pourrait leur fournir un appoint important et fructueux.

Les altitudes du Morvand qui s'élèvent jusqu'à 900 mètres permettent l'emploi d'essences variées à planter ou à semer soit dans les vides soit en mélange avec le taillis (1), de manière à ménager gradnellement la transition du régime actuel au régime des arbres verts. Suivant les altitudes on recourrait aux pins des diverses espèces, au sapin, à l'épicéa (2), au mélèze.

L'introduction des conifères ou bois résineux dans les taillis médiocres est une excellente opération dont l'auteur de ces lignes a eu l'occasion, en bien des circonstances, d'apprécier l'avantage au point de vue cultural et de l'amélioration des sols pauvres et rebelles. L'emploi recherché de ces sortes de bois pour le soutènement et le boisage des galeries de mines ajoute à cet heureux résultat technique une circonstance économique des plus favorables.

Trois essences résineuses du Canada. — Dans un rapport au Président de la Société des Agriculteurs de France, M. Pérusson, au retour d'un voyage d'étude au Canada, fournit d'intéressants détails sur trois des arbres forestiers de ce pays : le *Tsuga de Douglas,* Carr., le *Tsuga de Mertens,* Carr., et le *Cyprès de Lawson,* Murr. (3).

On sait que le Tsuga, intermédiaire entre les genres *Abies* et *Picea,* porte ses cônes pendants et caducs avec écailles persis-

(1) Le bois de hêtre est peu estimé pour l'exploitation des mines. Longtemps il a été systématiquement refusé. Vu les besoins croissants on l'admet aujourd'hui, mais seulement dans la proportion de 10 p. c.

(2) L'épicéa, dont la résistance à la pression est insuffisante, est peu recherché pour le service des mines ; mais il a d'autres emplois avantageux, notamment la fabrication de la pâte à papier.

(3) Bulletin de la Société des Agriculteurs de France, 1er mars 1904.

tantes comme l'épicéa, et a ses feuilles aplaties et striées de blanc en dessous comme le sapin.

Le Tsuga de Douglas est celui qui, par l'ensemble de son aspect, se rapproche le plus d'*Abies*, mais avec plus de légèreté de formes, une verdure plus claire et plus gaie, et la même parfaite rectitude de tige. Parmi les sujets qu'a visités M. Pérusson, point rares n'étaient ceux qui mesuraient 10 mètres de circonférence (soit plus de 3 mètres de diamètre) avec 80 et 100 mètres de hauteur, du pied à la flèche terminale ! Cette longueur de tige ne laisse pas que de surprendre ; jusqu'ici on ne l'avait guère attribuée qu'aux géants californiens : *Sequoïa gigantea* et *Taxodium Sempervirens* ; et Carrière, dans son magistral *Traité général des Conifères*, n'attribue au Tsuga de Douglas guère plus de 50 mètres de hauteur. Il est vrai que Carrière parlait d'après des arbres de Californie et du Mexique. Il se peut qu'ils soient dépassés par leurs congénères du Canada. Ils sont d'ailleurs droits comme des cierges et hauts sous branches de 60 à 75 mètres. Le bois de ce canadien serait de première qualité, fin, élastique, résistant, presque incorruptible. L'arbre serait d'un tempérament rustique ; peu exigeant sur la nature du sol, mais, à la différence de son cousin germain le sapin commun, il serait avant tout un arbre de lumière, ne supportant ni l'ombre ni le couvert.

Quant au Tsuga de Mertens, M. Pérusson en donne une description faite pour étonner : cet arbre, dit-il, aurait une " hauteur prodigieuse par rapport à sa grosseur " (?). Et M. Pérusson cite, à l'appui de son dire, un poteau servant d'antenne de pavillon devant le palais du gouverneur de Victoria ; cette pièce, avec un diamètre de 35 centimètres seulement, mesurerait 60 mètres de hauteur. La conclusion nous paraît provenir d'une généralisation beaucoup trop hâtive. Un exemple isolé ne prouve rien. Il est infiniment probable que le poteau en question provenait d'un arbre ayant crû en massif trop serré et dont, par suite, la longueur s'était développée aux dépens de la grosseur. Même dans l'île de Vancouver, et d'ailleurs comme sur tous les points du globe, il en est ainsi, en dépit des assertions de certain prétendu forestier... en chambre, qui soutenait le contraire (1).

(1) Voir le compte rendu du *Traité de Sylviculture* de P. Mouillefert, § II, dans la Revue des Questions scientifiques de janvier 1904, p. 243. — La plupart des auteurs qui se sont occupés de cet arbre, Lewis et Clarck, Gordon, Carrière, lui donnent un diamètre de $1^{m},33$ à 2 mètres, soit 4 à 6 mètres de circonférence.

Le bois du *Tsuga mertensiana* est d'ailleurs très dur, difficile à travailler, mais excellent pour la charpente et les traverses de chemins de fer.

Le Cyprès de Lawson, probablement le *Chamaecyparis Boursieri* de Decaisne, serait moins intéressant, ayant moins de hauteur, des formes moins régulières et étant souvent creux à l'intérieur. Il donnerait néanmoins un bois à grain très fin, un peu cassant mais avantageux en menuiserie et pour poteaux télégraphiques. Comme croissance, l'ombre ne lui serait pas défavorable, et il s'accommoderait aussi bien des sols secs que des sols humides. Quant à des circonférences de 16 mètres, soit près de 6 mètres de diamètre, que cet arbre pourrait acquérir, la chose demanderait à être vérifiée avec le plus grand soin. Jusqu'à plus ample informé, nous estimons qu'il y a là une grande exagération.

Un peu de statistique forestière et commerciale. — D'après le relevé qui fut fait, en vue de l'Exposition universelle de 1900, par M. le Conservateur des Eaux et Forêts, Mélard, des importations et exportations de bois dans les divers pays du monde civilisé, la France avait, de 1894 à 1898, importé annuellement, en moyenne, pour 140 480 140 francs de bois d'œuvre, et en avait exporté pour 41 822 216 francs.

L'excédent des importations sur les exportations avait donc été en moyenne annuelle, durant ces cinq années, de 98 657 924 fr.

D'après une statistique plus récente et concernant l'année 1900 (1), ces chiffres auraient peu varié : 140 048 000 pour les importations et 41 660 000 pour les exportations, ce qui donne, pour l'excès des importations, le chiffre, presque égal au précédent, de 98 388 000 francs.

On voit que les chiffres d'affaires en matière de bois auraient légèrement fléchi de 1898 à 1900.

Si nous passons aux États de Sa Majesté britannique en Europe, nous verrons que leurs importations, dont la moyenne annuelle était, en 1898, de 477 216 626 fr., se sont élevées à 628 121 023 fr. en 1900, en augmentation de 150 904 397 francs.

Quant aux exportations, l'Angleterre en fait peu. La moyenne en était de 5 728 000 francs en 1898. Il est probable qu'elle a peu varié depuis lors.

Sauf la proportion, les conditions sont, en Belgique, analogues à celle du Royaume-Uni.

(1) Revue de Statistique, citée par le Cosmos, 5 novembre 1904.

En 1898, la Belgique avait importé des bois pour une somme de 104 255 611 fr. et n'en avait exporté que pour 2 143 483 fr. En 1900, ses importations se sont élevées à la somme de 162 millions de francs (1), soit un accroissement de près de 58 millions, ce qui dénote un développement sensible d'activité industrielle et commerciale, mais aussi une certaine pénurie de ressources forestières locales.

Pour les Pays-Bas, la Revue de Statistique a dû, nous le craignons, faire erreur. Elle porte à 18 millions seulement le chiffre des importations de ce royaume en l'an 1900. N'aurait-elle pas pris, pour le chiffre des importations, l'excès de celles-ci sur les exportations ?... En 1898, les importations en bois de la Hollande s'élevaient à 104 121 912 francs et ses exportations à 85 976 696 francs : d'où un excédent de celles-là sur celles-ci de 18 145 216 francs. Il est bien invraisemblable que de 1898 à 1900 les importations soient descendues de 104 millions à 18 millions ; il est au contraire de toute probabilité que ce dernier chiffre représente un excédent qui se trouve sensiblement le même à deux années d'intervalle, ce qui n'a rien que de naturel.

De même pour l'Allemagne, la Revue de Statistique nous dit que ce vaste pays a importé en 1900 des bois pour 343 millions de francs. Mais il en avait importé, en 1898, pour 370 600 000 fr. et exporté pour 27 000 000 ; d'où une différence, en faveur des importations, de 343 600 000 fr., nombre qui peut être considéré comme égal, en chiffres ronds, à celui qu'on nous donne comme total des importations.

En Danemark, le chiffre de 31 millions pour les importations paraît plus exact ; il est sensiblement le même qu'en 1898. Il est vrai que le chiffre des exportations est, sinon nul, du moins tellement faible qu'il ne dépasse pas les dizaines de mille; en sorte que, soustrait du chiffre des importations, il laisse toujours celui-ci avec son nombre de millions intact.

C'est encore, sous la rubrique *Importations*, l'excès de celles-ci

(1) D'après le Rapport officiel présenté, le 12 octobre 1903, au nom de la Commission spéciale du Conseil supérieur des forêts, présidée par le Cte Werner de Mérode, les quantités de bois achetées annuellement par la Belgique correspondraient aux valeurs suivantes :

1896 : 92 668 000 fr.	1899 : 123 382 000 fr.
1897 : 105 230 000 fr.	1900 : 134 651 000 fr.
1898 : 108 155 000 fr.	1901 : 132 571 000 fr.

Ces chiffres ne correspondent pas trop aux indications de la Revue de Statistique (cf. Bulletin de la Société forestière de Belgique, août 1904).

sur les exportations qu'on nous donne pour l'Italie. Ce pays avait fourni, en 1898, 35 262 298 fr. aux importations et 4 130 762 fr. aux exportations. La différence de ces deux chiffres est 31 131 536, ou, en nombre rond, 31 millions, que l'on nous donne comme le chiffre total des importations.

Faut-il en dire autant pour la Suisse ? La Revue de Statistique indique 14 750 000 fr. pour la valeur totale de ses importations en 1900. Or le mémoire si soigné de M. Mélard indique pour les importations de la République Helvétique en 1898 : 16 541 409 fr. ; et pour les exportations 1 786 482 fr. Différence en faveur des importations : 14 754 927 fr. C'est le chiffre donné par la dite Revue comme représentant la valeur totale des importations.

Le petit royaume de Grèce avait importé en 1897, le dernier exercice connu en 1900, des bois pour une valeur de 3 272 432 fr., et en avait exporté pour un peu moins de 4000 fr., ce qui laisse un excédent d'importation de 3 268 000 fr. La Revue de Statistique en annonçant, pour 1900, un chiffre total d'importations de 3 millions ne doit donc pas se tromper de beaucoup.

Pareillement pour la Bulgarie. La même Revue lui prête une valeur totale de 2 millions pour ses importations en 1900. Or elle avait importé, en 1898, pour 3 094 830 fr. et exporté pour 845 337 fr., ce qui fait, comme excès des importations sur les exportations, 2 249 493 fr.

Il est encore d'autres pays d'Europe qui exportent beaucoup plus de bois qu'ils n'en importent. Tels l'Espagne et le Portugal, la Turquie, la Serbie. Mais quelles que soient les omissions ou les erreurs, relevées ci-dessus, des chiffres indiqués, il n'en ressort pas moins que toutes les puissances signalées *importent*, c'est-à-dire consomment, plus de bois qu'elles n'en exportent, c'est-à-dire qu'il n'en sort de chez elles; d'où résulte fatalement un déficit plus ou moins grand sur l'ensemble. Les pays, qui en Europe, pourvoient le plus efficacement à ce déficit, en exportant plus de bois qu'ils n'en importent, sont l'Autriche-Hongrie, la Norvège, la Suède, la Russie, la Finlande, la Roumanie, la Bosnie et l'Herzégovine. Mais surtout, les grands pourvoyeurs de bois du monde entier, sont les États-Unis d'Amérique et la Puissance du Canada. Les autres pays des deux continents du nouveau monde, de même que le Sud-Africain et l'Australasie, sont plus importateurs de bois qu'exportateurs.

Nous ajouterons à ces remarques de la Revue de Statistique, que si l'on excepte l'Autriche-Hongrie, la Suède et peut-être la

Russie, la prospérité forestière des pays exportateurs est plus apparente que réelle. S'ils ont un excédent de produits ligneux, c'est en exploitant leurs forêts au delà de ce qu'elles produisent, autrement dit, en attaquant le capital matériel. Cet état de choses est surtout caractéristique sur le continent nord-américain. Là, les forêts sont saccagées, gaspillées sans règle ni mesure. En sorte que la situation déjà signalée ici même, il y a quatre ans (1), ne semble point encore à la veille de changer.

Étendues des forêts européennes et leur proportion avec l'étendue de leurs pays respectifs. — La Revue Scientifique établit d'autre part un aperçu de la proportion des terres cultivées, prairies et forêts dans les divers États de l'Europe. Les chiffres qu'elle donne concernant cette troisième catégorie des productions du sol diffèrent assez sensiblement de ceux, quasi officiels, rapportés dans l'important mémoire publié à l'occasion de l'Exposition universelle de 1900 par M. le Conservateur des Eaux et Forêts, Mélard. Nous les donnons ci-dessous d'après ce document.

États d'Europe	Étendues boisées	Pourcentage de forêts
Finlande	22 500 000 hectares	60 %
Bosnie et Herzégovine	2 700 000 "	53 "
Serbie	2 090 000 "	42 "
Suède	18 200 000 "	40 "
Russie d'Europe	160 000 000 "	32 "
Autriche-Hongrie	18 780 000 "	30 "
Allemagne	14 000 000 "	26 "
Norvège	6 810 000 "	21 "
Suisse	842 000 "	20 "
France	9 500 000 "	17,7 "
Belgique	506 000 "	17,2 "
Italie	4 093 000 "	14 "
Roumanie	1 800 000 (2) "	14 "
Espagne et Portugal	6 950 000 "	13 "
Grèce	830 000 "	13 "
Pays-Bas	248 000 "	7,5 "
Danemark	241 430 "	6,3 "
Angleterre et Irlande	1 229 000 "	4 "

(1) Livraison de janvier 1901, p. 252, Variétés : *De la prochaine disette de bois d'œuvre dans l'univers.*

(2) D'après le Bulletin de la Société centrale forestière de Belgique, de mars 1903, ce chiffre devrait être porté à 2 724 180 hectares se répar-

Il ne faudrait pas croire que l'importance de la production forestière soit toujours en rapport avec l'étendue boisée. Beaucoup d'États exploitent annuellement un volume de bois supérieur à la croissance annuelle. Ailleurs, comme en Finlande ou en Roumanie, les forêts sont exploitées sans grande méthode et peuvent être improductives sur des étendues plus ou moins grandes.

Le tableau ci-dessus ne donne qu'un aperçu approximatif.

La sylviculture en Autriche. — L'Empire austro-hongrois est peut-être, de toutes les puissances du monde, celle où le rapport entre la production ligneuse des forêts et leur exploitation est le mieux observé. D'après un relevé statistique publié par le ministère de l'Agriculture austro-hongrois, la surface boisée de la seule Autriche, *sans compter la Hongrie et la Croatie-Slavonie*, serait de 9 767 566 hectares, se répartissant ainsi :

Forêts domaniales :	717 195	hectares
Forêts communales :	1 283 080	„
Forêts d'établissements publics, corporations, etc. :	1 042 764	„
Forêts en fidéi-commis :	1 003 562	„
Forêts particulières :	5 720 965	„
Total égal :	9 767 566	hectares

La répartition dans les trois modes principaux de culture, futaie pure, taillis sous-futaie, taillis simple, est la suivante :

Futaie :	8 319 745	hectares
Taillis sous-futaie :	282 364	„
Taillis simples :	1 165 457	„
Total égal :	9 767 566	hectares

Quant à la composition des essences, elle se répartirait comme suit :

Pin de montagne :	65 780	hectares
Autres essences résineuses :	5 831 162	„
Essences feuillues :	2 071 146	„
Feuillus et résineux mélangés :	1 799 478	„
Total égal :	9 767 566	hectares

tissant ainsi : État, 1 035 000 ; couronne, 70 180 ; communes, 126 000 ; particuliers, 1 493 000. — Le total serait ainsi une fois et demie celui indiqué ci-dessus. Il est vrai qu'il s'effectue chaque année d'importants boisements en Roumanie.

On remarquera la prépondérance considérable de la futaie sur taillis : 1 447 821 hectares de taillis simple ou composé, pour 8 319 745 hectares de futaie pure ! C'est 85 p. c. de futaie et seulement 15 p. c. de taillis. La proportion des résineux relativement aux feuillus est également forte : 5 896 942 hectares de conifères purs sur un total de 9 769 566 hectares ; c'en est plus des trois cinquièmes. Cette grande abondance des résineux explique d'ailleurs l'énorme prépondérance du traitement en futaie sur les traitements en taillis simple et composé.

C. DE KIRWAN.

PHYSIQUE

—

L'ENQUÊTE SUR LES RAYONS N

Qui donc, dernièrement, en présence des merveilleux résultats donnés coup sur coup par l'étude des rayons N, parlait de *radiopathie* ? Habitués que nous sommes depuis quelques années à découvrir constamment des radiations nouvelles, les infra-rouges et les ultra-violettes, les cathodiques, les X, les radio-actives, en serions-nous arrivés à une tension d'esprit si violente, à un besoin de nouveauté si âpre que, dans ce domaine, les chercheurs se trouveraient en proie à l'hallucination, et le public, même savant, livré sans défense à la suggestion ?

Posée dans ces termes généraux, la question, hâtons-nous de le dire, est facile à résoudre par la négative. Les divers rayonnements énumérés ci-dessus ont été observés par des expérimentateurs nombreux et exercés, travaillant séparément, s'entourant de toutes les précautions et enfin mettant en œuvre des procédés de mesure très nets dans des conditions parfaitement déterminées. Là, aucune illusion à craindre ; et si les théories peuvent être discutées, les faits du moins sont hors de conteste.

Il en va tout autrement pour les rayons N. Découverts par l'éminent physicien français R. Blondlot, il y a un peu moins de

(1) Cf. le BULLETIN de la Société centrale forestière de Belgique, nº d'octobre 1904.

deux ans, ils ont manifesté successivement une foule de propriétés plus étonnantes les unes que les autres. La Revue a rendu compte de ces travaux, par une plume très autorisée, dans la livraison du 20 avril 1904. Or, cette révélation des rayons N présente une particularité absolument extraordinaire, et des plus inquiétantes. Tous ces phénomènes n'ont pu être vus que par un très petit nombre de personnes, presque toutes attachées à l'Université de Nancy, comme l'auteur de la découverte. De plus, s'il se rencontre dans le reste de la France quelques rares savants qui aient eu le même privilège, à l'étranger tous, sans exception, ont absolument échoué.

Cette constatation est fort grave, assurément, et les soupçons qu'elle autorise, à mesure que le temps s'écoule et que les insuccès se multiplient, vont sans cesse s'aggravant. Déjà à l'époque où parut l'article précité, ces échecs constants de l'immense majorité des expérimentateurs et ces succès limités au petit groupe des savants nancéens avaient frappé certains esprits, et, malgré la valeur incontestée de leur éminent protagoniste, le scepticisme envahissait peu à peu les physiciens déçus. Aussi, l'auteur de l'article termine-t-il son exposé par les plus sages réserves. Mais depuis lors, la persistance des mêmes singularités a fait naître de nouvelles réflexions, petit à petit la défiance s'est changée en inquiétude, puis en critique ouverte. Tant et si bien que la Revue Scientifique, à la suite d'une lettre publiée par le professeur R. W. Wood dans la Nature de Londres (29 septembre 1904), prit le 29 octobre 1904 l'initiative d'une espèce de *referendum* parmi les physiciens français, en leur demandant à chacun leur avis sur la question.

Les réponses sont arrivées en grand nombre. Naturellement le groupe de Nancy garde ses convictions. Un certain nombre de savants ne savent encore se résoudre à abandonner une croyance basée, non sur des expériences personnelles, mais sur l'autorité si respectée de M. Blondlot, tout en avouant cependant que la preuve n'est pas faite. D'autres se tiennent dans une réserve absolue. D'autres enfin se prononcent résolument pour la négative, en y englobant tout ou partie des nombreux phénomènes qui se rattachent à cet ordre de recherches.

Faire le dénombrement des voix en faveur des diverses opinions ou peser l'autorité de ceux qui les ont émises n'aurait évidemment aucune espèce d'intérêt. Ce n'est pas de la sorte que se tranchent les questions scientifiques. Mais, ce qui sera hautement instructif, c'est de réunir les diverses considérations cri-

tiques énoncées dans les réponses publiées par la REVUE SCIENTIFIQUE. Nous y trouverons, avec le raccourci d'un épisode étrange de l'histoire des sciences, une leçon pratique d'une singulière valeur.

Il importe tout d'abord de distinguer les diverses découvertes successivement annoncées à l'Académie des Sciences de Paris par M. Blondlot et par ses continuateurs (1).

La première a été celle de l'action de certains corps sur une petite étincelle électrique, ou sur une petite flamme.

La seconde, la définition des rayons N, et l'étude de leurs propriétés physiques : longueurs d'onde, indices de réfraction, etc.

Vient ensuite la découverte des actions physiologiques des rayons N sur l'organisme, animal ou végétal. Celle-ci est due surtout à M. Charpentier.

Enfin l'émission pesante, trouvée par M. Blondlot.

La première seule — la remarque est capitale, comme nous le verrons — a pu être constatée par une méthode vraiment objective, à savoir la photographie. Nous y reviendrons séparément. Les trois autres n'ont manifesté aucune action sur la plaque sensible : la seule méthode d'expérimentation a été d'observer les variations de luminosité d'un écran au sulfure de calcium faiblement insolé.

Par conséquent, *l'existence et les propriétés des rayons N comme tels reposent uniquement sur les faits constatés dans l'observation de l'écran au sulfure de calcium.* Car, en admettant la parfaite correction de l'expérience photographique faite sur l'étincelle, on n'en saurait tirer aucune conclusion en faveur des rayons N. Il faudrait d'abord prouver que l'effet sur le sulfure est dû à la même cause que l'effet sur l'étincelle, ce qui n'a

(1) Consulter : R. Blondlot, *Rayons " N ".* Recueil des communications faites à l'Académie des Sciences par l'auteur, avec des notes complémentaires. Un vol. petit in-8° de 78 pages, avec deux planches hors texte. Paris, Gauthier-Villars, 1904. — Ce volume fait partie de la collection des *Actualités scientifiques.* Les notes des COMPTES RENDUS qu'il reproduit sont celles que M. Blondlot a présentées à l'Académie des Sciences du 2 février 1903 au 14 mars 1904. Elles ont été analysées ici même dans le Bulletin de physique du P. Lucas, S. J., livraison du 20 avril 1904, pages 686-699. Parmi les compléments qu'y ajoute M. Blondlot, nous signalerons l'*instruction pour confectionner des écrans phosphorescents propres à l'observation des rayons N,* et les indications sur la manière d'observer l'action de ces rayons.

pas été fait; et, en second lieu, aucune des expériences de nature à montrer que la cause agissante est bien un rayonnement n'a été répétée par la méthode de l'étincelle. Les rayons N, comme tels, s'appuyant donc exclusivement sur la méthode du sulfure, le nœud même de la question est dans la discussion de cette méthode.

Or, il est difficile, à l'examen des éléments de cette discussion, de se refuser aux deux constatations suivantes, extrêmement graves pour l'existence des rayons N.

Premièrement, la méthode, en elle-même, mérite fort peu de confiance. Secondement, elle n'a pas été mise en œuvre avec toutes les précautions nécessaires.

Voici les principaux inconvénients de la méthode. Ils se réduisent à deux chefs : la difficulté objective de l'observation et l'insuffisance de l'instrument qui sert à la faire.

Ce qu'on doit voir, c'est une très faible variation d'éclat du sulfure de calcium, ou encore, dans certaines variantes de la méthode, une netteté plus grande, disons plutôt un peu moins de flou des contours de la tache lumineuse. Le sulfure est très peu lumineux, et l'observation se fait dans l'obscurité la plus complète, après avoir laissé à l'œil le temps de s'y habituer. Le phénomène à observer est donc extrêmement faible. Or on sait qu'il y a une foule de circonstances, fort peu étudiées d'ailleurs, qui influent sur la luminosité des substances phosphorescentes et dont les effets prennent avec la plus grande facilité des valeurs égales à ce qu'il s'agirait de déceler ici. Au nombre de ces influences il faut noter les mouvements de l'air, les vibrations de diverses natures, entre autres les vibrations acoustiques, et surtout les variations de la température. Il est donc souverainement important, si l'on veut reconnaître l'action d'un agent déterminé, tel que les rayons N, sur le sulfure de calcium, de supprimer absolument l'action de tous les autres. Ce serait difficile, pour plusieurs, en supposant qu'on les connût tous : c'est impossible, actuellement, parce qu'on n'a jamais étudié systématiquement les variations d'éclat des sulfures, sous l'action des diverses causes capables de les influencer.

L'instrument qui sert à l'observation c'est l'œil, mais l'œil employé dans de très mauvaises conditions de fonctionnement. Il s'agit de lueurs si faibles qu'elles sont à la limite même, au seuil, comme disent les physiologistes, de la perception. De plus, leurs contours manquent absolument de netteté. Dès lors, ne percevant pas du premier coup ou cherchant à voir plus nettement, l'œil se

déplacera instinctivement, ce qui revient à exposer à l'image des plages inégalement sensibles de la rétine, suivant l'observation de Lummer relatée dans l'article du P. Lucas, ou bien il variera son accommodation, ce qui amènerait des variations d'éclat et de netteté même sur une image nette. Les auteurs des découvertes recommandent bien de ne pas accommoder : mais on fait remarquer avec raison que la préoccupation même de lutter contre l'accommodation subconsciente est une cause d'oscillations de l'accommation. Enfin on a signalé aussi des oscillations de l'attention, lors même que la sensation ne varie pas.

Cela étant, on avouera que c'est faire preuve de grande modération que de conclure qu'une telle méthode est extrêmement difficile à mettre en œuvre et que, si elle doit servir à établir l'existence de phénomènes qui ne sont accessibles d'aucune autre manière, on est en droit d'exiger tout au moins que les expérimentateurs s'entourent de précautions infinies et que des résultats concordants soient obtenus dans un très grand nombre d'essais indépendants.

Voyons maintenant comment on a opéré en réalité. Tout d'abord, à lire la plupart des communications faites, aucune précaution ne paraît avoir été prise pour échapper aux multiples causes d'erreur objective. Ainsi il ne semble pas qu'on ait jamais songé à l'influence de la chaleur du corps quand on s'approchait pour examiner l'écran, ni à celle de l'haleine. Aucun renseignement n'est donné sur les règles de prudence observées ; et aucune réponse n'a été opposée, dans les défenses publiées par les auteurs, aux reproches qui leur ont été faits à ce sujet. Cela était pourtant essentiel. D'autre part, quelques-uns de ceux qui avaient cru voir d'abord ont vu le nombre des échecs augmenter à mesure qu'ils écartaient plus de causes d'erreur, et finir par devenir égal au nombre des essais quand le manuel opératoire avait atteint un certain degré de perfection. C'est le cas notamment de M. Weisz, de Zürich, le seul savant non français qui ait cru pouvoir, un moment, affirmer qu'il avait vu quelque chose. Il s'est rétracté depuis.

Ce qui est également grave, c'est que toutes les apparences inclinent fortement à croire que l'instrument a été systématiquement faussé ; nous voulons dire que les observateurs ont été soumis à une suggestion, d'autant plus redoutable que l'objet à percevoir était à la limite de la visibilité, et l'œil chargé de le reconnaître dans les très mauvaises conditions que nous avons indiquées. C'est justement dans ces cas-là que les influences

mentales ou morales ont leur maximum de puissance sur les sensations.

Or, que trouvons-nous ? Tous ceux qui voient bien et facilement les rayons N, MM. Blondlot, Bichat, Charpentier, Meyer, Lambert et Gutton, appartiennent à l'Université de Nancy. En dehors d'eux, on cite six savants français qui s'en sont occupés occasionnellement avec quelque succès, et trois qui les ont étudiés de plus près, MM. d'Arsonval, Broca et Jean Becquerel. Ces derniers, comme tout le monde, n'avaient rien vu d'abord. M. d'Arsonval a été convaincu par M. Charpentier, un ami de trente ans ; M. Broca a fini par voir sous la direction de M. d'Arsonval, enfin M. Jean Becquerel a ouvert les yeux dans un voyage à Nancy A son retour à Paris il a même entraîné un de ses collègues, pour peu de temps d'ailleurs. Si l'on songe maintenant que ces Messieurs, comme du reste les centaines de physiciens qui ont fait des tentatives infructueuses, avaient une confiance entière dans l'autorité de M. Blondlot, qu'ils ont fini par se rendre seulement en présence des auteurs de la découverte et en observant sous leur direction, guidés par leurs recommandations et bien avertis dans le plus petit détail de ce qu'ils devaient voir, on ne peut vraiment s'empêcher de penser que, si la suggestion avait eu lieu, elle se serait sans doute manifestée de cette façon-là.

Il y a plus. Les premiers auteurs des diverses découvertes ne réussissent pas toujours eux-mêmes, et ils ont omis de nous dire quelle est la proportion de leurs échecs et à quoi ils les attribuent. Chose infiniment plus regrettable encore, on cite au moins trois cas où, le prisme d'aluminium ayant été enlevé à l'insu de l'observateur, celui-ci continuait néanmoins à voir et à mesurer les faisceaux déviés.

Et puis, on a signalé dans les résultats eux-mêmes des choses bien étranges et propres à éveiller les plus légitimes défiances. M. Blondlot mesure des minima et des maxima très nets dans le faisceau dévié par le prisme d'aluminium, et MM. Perrin et Buisson calculent qu'avec les dimensions indiquées de l'appareil, et en particulier de la fente, les maxima et minima ne peuvent avoir les étendues que leur assigne la mesure directe. L'accroissement de l'indice avec la longueur d'onde est opposé à tout ce que l'on sait de la loi qui relie ces constantes dans les rayonnements ordinaires. Un autre critique relève que M. Charpentier obtient, au moyen des rayons N, la confirmation d'une localisation

des centres nerveux soutenue par lui, mais reconnue erronée par d'autres auteurs.

Reste, il est vrai, la photographie de l'effet obtenu sur les étincelles. Voici bien, cette fois, dira-t-on, un témoin irrécusable, un phénomène *objectif* sur l'existence duquel il ne peut y avoir aucun doute. Peut-être. Mais, en tout cas, la portée du témoignage est presque nulle ; car, comme nous l'avons fait observer en commençant, il n'a aucun rapport démontré avec les rayons N. Donc il prouverait uniquement ceci, que la présence de certains corps dans le voisinage d'une petite distance explosive réglée d'une certaine manière, renforce l'éclat de l'étincelle. Cela n'est pas dénué d'intérêt, sans doute, mais cela ne nous apprend absolument rien sur la nature du phénomène, et par conséquent cela n'a aucune valeur dans la question de l'existence des rayons N (1).

Mais cette expérience elle-même a été contestée. On a objecté, par exemple, que la suggestion avait pu jouer un rôle dans la durée des poses données respectivement à l'étincelle influencée et à celle qui ne l'était pas. En effet, ces poses étaient données à la main. M. Blondlot a répondu à ces critiques et à quelques autres du même genre par de nouvelles expériences plus rigoureuses, où les changements étaient automatiques et les durées enregistrées automatiquement aussi, et par un complément d'informations sur les précautions prises dans ses expériences anciennes. Ces photographies d'étincelles restent donc, tant par leur caractère objectif que par le contrôle sévère du mode opératoire, un document de valeur très sérieuse, infiniment supérieure aux résultats de la méthode au sulfure de calcium.

Et pourtant, même ici, tous les doutes ne sont pas entièrement

(1) M. Bordier a cru trouver une preuve objective de l'existence des rayons N. Il a montré à l'Académie des Sciences de Paris, le 5 décembre 1904, des photographies obtenues par le contact prolongé avec des taches de sulfure dont quelques-unes portaient une lime d'acier, d'autres des lames de plomb de même poids. Les impressions, paraît-il, sont différentes. Le seraient-elles dix fois plus, qu'on n'en saurait rien conclure en faveur des rayons N. D'abord, parce que ces différences ne nous indiquent rien sur la nature de l'action qui les a produites, et ensuite parce qu'il est trop aisé de signaler plusieurs causes d'erreur contre lesquelles l'opérateur ne s'est pas mis en garde ; par exemple, les variations calorifiques qui, d'après Graetz, modifient la sensibilité de la plaque du moment qu'elles atteignent le 50e de degré, l'influence de la nature des corps dans les traces qu'ils laissent au contact d'une plaque photographique en l'absence de toute cause connue de variation, la possibilité d'actions radio-actives très lentes, etc.

levés. Ainsi, il est très remarquable que la photographie des étincelles impressionnées n'ait pas mieux réussi entre les mains des physiciens étrangers à Nancy que l'observation des taches phosphorescentes. L'échec de l'éminent professeur Rubens de Berlin, en collaboration avec Lummer et Hagen, tous trois célèbres par des travaux qui constituaient la meilleure des préparations pour les recherches qui nous occupent, est particulièrement significatif, d'autant que leurs efforts uniformément vains se sont continués pendant une année entière, à peu de chose près.

Il est possible, après tout, que cet insuccès complet tienne à l'omission de très menues particularités du manuel opératoire qui n'auraient pas été décrites avec assez de détails dans les publications de M. Blondlot. Et il ne faut pas oublier non plus que très peu de physiciens, jusqu'à présent, se sont essayés à la photographie des étincelles renforcées par les rayons X. L'argument négatif qu'on pourrait tirer de la non-réussite des expérimentateurs ne sont pas allés à Nancy a donc ici beaucoup moins de poids que dans le cas de la première méthode.

D'autre part, M. H. Poincaré, quoique persuadé de l'existence des rayons N, sans toutefois les avoir vus lui-même, a montré au cours de sa déclaration, une plaque photographique où les impressions données successivement par une étincelle dans des conditions absolument identiques en apparence, et en l'absence des rayons N, sont cependant notablement différentes en intensité. La réserve s'impose donc, même ici, jusqu'à ce qu'on ait trouvé le moyen d'expliquer ces différences.

De toute cette discussion se dégagent finalement les conclusions suivantes :

1° L'existence d'une action sur l'étincelle est probable, bien que non encore suffisamment établie. Mais on n'a pas obtenu la moindre indication sur sa nature.

2° Tout ce qu'on a avancé sur les propriétés des rayons N et sur leur existence même n'a aucune base scientifique, dans l'état présent de la question. Et si l'on remarque qu'une chose connue simplement comme possible a beaucoup moins de chances d'exister réellement que de n'exister pas, puisque le nombre des choses purement possibles dépasse infiniment celui des choses existantes, il en résulte que l'esprit ne peut rester dans l'indifférence absolue vis-à-vis de l'affirmation ou de la négation de leur existence. Tout au plus pourrait-on admettre une probabilité extrinsèque appuyée sur le mérite des nombreux travaux antérieurs de

M. Blondlot, sur sa probité scientifique bien reconnue, sur son habileté expérimentale universellement appréciée. Mais ces considérations ne sont pas recevables dans un débat scientifique. Jusqu'à nouvel ordre, la négative a beaucoup plus de probabilité que l'affirmative.

3° La méthode suivie pour étudier les rayons N, bien que défectueuse et dans le cas présent employée sans contrôle suffisant, n'est pas à condamner absolument. Entourée des garanties convenables, elle semble pouvoir conduire au moins à une probabilité très acceptable. Mais il faut pour cela diriger les essais de manière à réduire au minimum l'effet des perturbations accidentelles et celui de la suggestion toujours possible. On y parviendra en comparant, d'une part, les résultats d'un très grand nombre d'expériences aussi soignées que possible, et d'autre part en s'arrangeant de manière à confier les diverses parties d'une même expérience à des observateurs différents, dont chacun devra ignorer absolument ce que font ses collègues. Plusieurs manières d'opérer suivant ces principes ont été proposées. Il est vivement à souhaiter qu'on se mette d'accord sur une série d'expériences collectives. C'est la seule manière de tirer la question au clair, tant qu'on n'aura pas découvert un effet objectif permettant de conclure sans ambiguïté possible.

Une réflexion encore, pour finir. Faut-il jeter la pierre aux auteurs des communications hâtives sur les rayons N qui ont abouti, sinon à cette faillite, au moins à cette espèce de liquidation judiciaire des rayons N ? Distinguons. Comme instrument de travail, ces savants avaient parfaitement le droit de se servir des résultats non encore démontrés auxquels ils étaient parvenus par l'observation du sulfure, et cela en vue d'arriver à découvrir de nouvelles propriétés. C'est même la marche ordinaire de la recherche scientifique, et l'histoire des sciences nous en offre de nombreux exemples. On part d'une vérité seulement entrevue et, plutôt que de s'attarder à chercher de prime abord une démonstration irréprochable souvent très malaisée à trouver, on fait des hypothèses, dont les conséquences, à leur tour, sont vérifiables par l'expérience. De déduction en déduction, on finit généralement alors par apercevoir clairement la preuve de la vérité initiale, ce qui a le double avantage d'y conduire par une voie moins pénible et de ramasser, chemin faisant, une foule de conséquences intéressantes. Si Kepler a pu découvrir les lois du mouvement elliptique des corps célestes, c'est grâce au manque

de précision des observations dont il disposait. Les irrégularités que démasquent nos mesures modernes, plus précises, auraient sans doute découragé complètement toute tentative de rapporter des résultats si embrouillés à des lois si simples. Une fois, au contraire, ces lois acceptées sur la foi de preuves encore insuffisantes, les perturbations se sont expliquées, pour ainsi dire, d'elles-mêmes.

M. Blondlot et ses continuateurs ont bien fait, par conséquent, d'aller de l'avant dans leurs recherches, sans attendre qu'ils eussent trouvé une base tout à fait inébranlable. Où ils ont eu tort, et ici les physiologistes ont plus à se reprocher que les physiciens, c'est dans la publication hâtive de leurs résultats. Il eût fallu, les principales propriétés du nouvel agent étant trouvées, revenir sur ses pas, s'attacher à perfectionner la méthode, et ne parler que quand on aurait au moins à faire valoir une bonne probabilité.

Mais, comme on l'a fort bien dit, ils ont subi l'influence des temps et suivi une sorte d'entraînement. Tant de radiations nouvelles avaient été découvertes depuis quelques années, qu'il paraissait tout naturel qu'on en rencontrât encore. On se fût étonné plutôt qu'une année se passât sans apporter son contingent de découvertes sensationnelles. Annoncés vingt ans plus tôt, les rayons N n'auraient rencontré sans doute qu'un scepticisme ironique, et on eût tôt fait de renverser le fragile édifice des observations sur le sulfure de calcium. Venant après les rayons de Rœntgen et les substances radio-actives qui nous ont habitués à ne plus nous étonner de rien, on leur a fait aussitôt un accueil sympathique qui n'a pas tardé à devenir chez quelques-uns une sorte d'enthousiasme.

C'est une leçon de philosophie des sciences qui a son prix. Et s'il ne devait rester rien autre de ces rayons N, célèbres un jour, du moins le cas psychologique qu'ils ont posé si bruyamment pourra-t-il servir à nous garder de trop grandes hardiesses à l'avenir.

V. Schaffers, S. J.

BOTANIQUE INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE

—

Le caoutchouc brésilien. — Le caoutchouc est un des rares produits dont l'abondance et la valeur ont augmenté concurremment dans ces dernières années. Malgré la quantité considérable exportée d'Afrique, l'Amérique continue à augmenter annuellement sa production. C'est ainsi qu'en 1903, Para et Manaos ont vu exporter 31 094 tonnes de caoutchouc, chiffre qui n'avait pas encore été atteint et qui semble bien prouver que les vastes forêts brésiliennes n'ont pas encore donné tout le caoutchouc qu'elles contiennent.

Dans ces dix dernières années, l'exportation totale par ces deux ports se chiffrait comme suit :

1894	19 473	tonnes
1895	20 769	„
1896	21 601	„
1897	22 535	„
1898	21 909	„
1899	25 430	„
1900	26 748	„
1901	30 290	„
1902	28 549	„
1903	31 094	„

Cette dernière exportation se décompose ainsi, d'après certaines statistiques :

Caoutchouc mangabeira. . . .	661 581	kilos.
„ de maniçoba . . .	1 721 894	„
„ de seringa ou *Hevea*.	29 328 813	„
Total	31 712 288	„

L'accroissement de l'exportation est donc presque constant, sauf en 1898 et en 1902 où elle a fléchi légèrement mais pour se relever bien vite.

En 1903, l'Europe a reçu de cette exportation 16 661 tonnes et les États-Unis 15 033 tonnes.

Il n'est pas sans intérêt de mettre en parallèle les quantités de caoutchouc exportées et classées suivant leurs qualités qui sont, comme on sait, au nombre de quatre : *Fina*, *Entrefina* et *Sernamby*, fournies par l'*Hevea braesiliensis* et les espèces

voisines, et *Caucho*, produit par un autre arbre caoutchoutifère croissant principalement au Pérou et dont le produit est importé au Brésil — son transport étant plus facile par cette voie.

Le tableau suivant donne les exportations en kilogrammes.

	Fina		Entrefina		Sernamby		Caucho		Total	
	1903	1902	1903	1902	1903	1902	1903	1902	1903	1902
Vers l'Europe										
de Para	4 043 822	4 110 135	399 298	577 680	1 532 518	1 493 651	504 621	233 357	6 480 259	6 414 823
de Manaos	5 113 050	4 412 386	768 658	937 312	1 127 230	1 101 526	2 572 350	1 823 865	9 581 288	8 275 089
Total	9 156 872	8 522 521	1 167 956	1 514 992	2 659 748	2 595 177	3 076 971	2 057 222	16 061 547	14 689 912
Vers les États-Unis de l'Amérique du Nord										
de Para	2 142 987	2 822 065	385 336	569 778	3 776 652	3 511 599	32 819	69 194	6 337 794	6 972 636
de Manaos	5 105 078	3 766 459	1 236 491	1 044 998	1 252 994	1 011 814	1 101 038	1 063 961	8 695 601	6 887 232
Total	7 248 065	6 588 524	1 621 827	1 614 776	5 029 646	4 523 413	1 133 857	1 133 155	15 033 395	13 859 868
Exportation totale										
de Para	6 186 809	6 932 200	784 634	1 147 458	5 309 170	5 005 250	537 440	302 551	12 818 053	13 387 459
de Manaos	10 218 128	8 178 845	2 005 149	1 982 310	2 380 224	2 113 340	3 673 388	2 887 826	18 276 889	15 162 321
Total	16 404 937	15 111 045	2 789 783	3 129 768	7 689 394	7 118 590	4 210 828	3 190 377	31 094 942	28 549 780

Il est intéressant de voir comment les 16 061 547 tonnes expédiées vers l'Europe se sont réparties entre les principaux ports européens ; le tableau qui suit nous montre que pour cette variété de caoutchouc le port d'Anvers est encore très arriéré. Il faut toutefois noter que, depuis la publication des données ci-dessous, le marché caoutchoutier d'Anvers est devenu plus important au point de vue du caoutchouc américain.

Exportation du Brésil (1903) vers :

Liverpool	13 586	tonnes
Le Havre	2 055	„
Hambourg	310	„
Gênes	103	„
Anvers	7	„

Ajoutons que ces statistiques ne sont pas absolument d'accord avec celles publiées officiellement par certains États ; elles suffisent cependant à donner une idée de l'importance de ce commerce.

On estime, dans certains milieux, la production mondiale en :

1901-1902 (1er juillet au 30 juin) à 51 170 tonnes
1902-1903 (1er juillet au 30 juin) „ 55 276 „

La consommation mondiale a été dans ces deux années à peu près égale à la production.

Le Brésil entre donc dans la production totale pour 56 % environ, tout en fournissant le produit le plus estimé.

Le coton et la culture du cotonnier. — Le coton intéresse actuellement un grand nombre de personnes, colons industriels et commerçants menacés par la crise cotonnière qui peut résulter du monopole que tend à établir l'Amérique sur cette utile matière première.

Nous croyons donc intéresser le lecteur en lui signalant deux ouvrages récents qui ont, pour nous Belges intéressés dans la culture du cotonnier en Afrique, une grande importance. Le premier a pour objet le coton en Afrique occidentale ; il est dû à la plume de M. Yves Henry, chef du service de l'Agriculture en Afrique occidentale (1). Il est divisé en trois parties. Dans la

(1) Y. Henry, *Le Coton dans l'Afrique occidentale française*. Paris, Challamel, 17, rue Jacob, 1904.

première, l'auteur étudie l'exploitation actuelle du cotonnier en Sénégambie, en Guinée, au Niger et au Dahomey ; dans la seconde, il expose les conditions exigées par la culture du cotonnier et traite du domaine cotonnier de l'Afrique occidentale française. La troisième partie est consacrée à l'examen des conditions dans lesquelles doit se faire une exploitation rationnelle de ce textile.

Les deux derniers chapitres ont naturellement une importance plus grande, pour le lecteur qui désire s'adonner à cette culture au Congo, que le premier qui est plus spécial. Le deuxième, bien qu'adapté spécialement aux colonies françaises, pourra servir de guide au planteur, car il fait ressortir les conditions qui déterminent les zones cultivables : conditions climatériques, économiques et dépendantes de la nature du sol. L'auteur insiste sur les conditions climatériques, la sécheresse et l'humidité, qui délimitent les zones de culture et contre lesquelles l'homme ne peut rien ou fort peu de chose. Les conditions économiques et celles qui relèvent de la nature du sol, peuvent se modifier plus ou moins rapidement au point même de rendre la culture possible là où un climat favorable n'attend que le travail de l'homme pour le seconder.

Ce livre ne se borne pas à rappeler aux planteurs toutes les conditions requises pour la culture de cette plante, il lui donne, en outre, dans la dernière partie, sous forme de considérations culturales, industrielles et commerciales, un résumé pratique de tout ce qui a trait au coton depuis la préparation des graines jusqu'à la mise en vente du coton.

Ajoutons que, pour faciliter la lecture de l'ouvrage, on y a joint de belles cartes des régions aptes à devenir cotonnières et des figures dans le texte.

Le second ouvrage est dû à M. H. Lecomte, l'auteur d'un ouvrage général sur le même sujet, publié il y a quelques années en France, alors qu'on ne possédait guère de travaux sur cette question et que l'on ne songeait pas à l'importance capitale qu'acquerrait cette plante.

Ce nouveau volume consacré au coton est le fruit d'une mission scientifique en Égypte. M. H. Lecomte y trace une monographie très documentée de la culture, de la préparation et de l'exportation du coton égyptien (1). L'espace nous manque pour

(1) H. Lecomte, *Le Coton en Égypte*. Culture, préparation, exportation. Rapport adressé à M. le Gouverneur du Sénégal sur une mission en Égypte. Paris, A. Challamel, 17, rue Jacob, 1904-1905.

résumer aussi largement qu'il conviendrait cet intéressant volume; nous eussions voulu insister sur le premier chapitre qui sert d'introduction et résume si nettement la production cotonnière mondiale et la situation de l'industrie cotonnière dans l'ancien et le nouveau monde ; il est bien rare de trouver un aperçu aussi complet sur cette question que beaucoup traitent sans l'avoir examinée soigneusement. Cette partie du travail de M. H. Lecomte mérite d'être lue et étudiée par tous. Puissent les idées qu'elle suggère trouver de l'appui et amener la solution de la crise cotonnière par la suppression du monopole des États-Unis !

Nous passons sur les chapitres II et III qui s'occupent du sol et du climat égyptien ; mais nous devons dire un mot des chapitres suivants. Le quatrième est consacré aux variétés cultivées. L'auteur y décrit soigneusement les races égyptiennes, en indiquant leurs qualités et leurs défauts, et insiste sur l'importance de la sélection. Le chapitre V traite de la culture proprement dite ; on y trouvera minutieusement décrites les méthodes des indigènes et celles qui appliquées par les blancs donnent les meilleurs résultats. Un autre chapitre est consacré à la récolte et à l'examen des frais qu'elle occasionne ; un autre, sur lequel on ne peut trop attirer l'attention, étudie l'épuisement du sol par cette culture et les moyens d'y remédier. Enfin le dernier chapitre expose clairement la question, si importante en Égypte, de l'irrigation.

De son voyage M. H. Lecomte a rapporté l'impression que la culture du coton ne sera possible au Sénégal et au Soudan que si on peut y pratiquer l'irrigation. Dès lors, comme il le dit très justement, la connaissance de ce qui se fait en Égypte, pays d'irrigation par excellence, sera de première utilité pour l'avenir agricole de l'Afrique occidentale. Cette étude pourra également être utilisée avec grand profit par les planteurs qui trop souvent, en voyant l'indigène cultiver sans soins un peu de coton pour son usage personnel, s'imaginent qu'il est aisé d'obtenir, dans la même région, un rendement commercial de ce textile.

Le palmier à huile. — Le palmier *Elaeis* est répandu dans toute l'Afrique occidentale, le long des côtes et même assez loin à l'intérieur des terres. Une distribution complète de cet arbre, si utile aux populations noires et de grande valeur pour l'industrie européenne, n'a pu être encore établie. Dans la Casamance, comme dans toute l'Afrique, les fétichistes extraient du célèbre

palmier le non moins célèbre vin de palme qui leur donne l'ivresse quotidienne; il fournit encore la belle huile jaune qui est la base de la cuisine indigène et que le blanc ne dédaigne pas. Les amandes, les " coco nuts „ comme on les désigne souvent, sont mangées fraîches et les feuilles servent soit à faire les charpentes de constructions légères soit, coupées en fragments, à recouvrir la toiture des cases. Tout homme dans cette région de l'Afrique doit savoir grimper, à l'aide de la ceinture d'écorce, jusqu'au sommet des *Elaeis* et être capable de saigner au bon endroit le pétiole du jeune régime pour en retirer le vin. Ce palmier est chose sacrée pour les populations fétichistes de la Basse-Casamance, mais les Musulmans du Boudhié et du Brasson le font disparaître sans merci et l'ont même déjà supprimé presque complètement aux environs de Sedhiou et de Sandiniery. Si le palmier *Elaeis* ne fournissait que du vin, la destruction de cette plante ne serait pas un très grand mal; mais il donne aussi l'huile, et il est à souhaiter que l'on intervienne pour empêcher le fanatisme musulman de priver cette région d'une de ses sources de richesse. Le palmier à huile croît lentement et, une fois supprimé d'une région, il pourrait avoir certaine peine à s'y réinstaller.

Dans le domaine de l'État du Congo, le nombre d'*Elaeis* est immense ; l'exportation en huile et en noix de palme est considérable, quoiqu'elle soit loin d'atteindre le chiffre qu'il serait possible de réaliser si ces arbres utiles étaient exploités avec soin. Mais le noir est naturellement indolent et se contente de ce que la nature lui met sous la main pour subvenir aux besoins du moment.

Amélioration et conservation des bois. — Depuis longtemps les chimistes ont recherché des moyens de conserver et d'améliorer la qualité des bois; on a obtenu, pour la conservation, de très beaux résultats par le recours au sulfatage (sulfate de cuivre), mais rien ne surpasserait, semble-t-il, l'emploi du sucre. Cette découverte est due à un Anglais, M. William Powell. Les expériences qui ont conduit à ce résultat avaient été faites primitivement dans le but d'empêcher le bois de pourrir rapidement et d'arrêter un commencement de décomposition. L'opération consiste à plonger le bois dans une solution de sucre chaude et concentrée. La durée de l'immersion varie suivant la nature du bois : elle doit durer jusqu'à complète imprégnation ; l'eau introduite entre les mailles du bois est ensuite évaporée par la chaleur sèche. Ce traitement donne au bois des propriétés

précieuses : il gagne en dureté et en résistance ; il ne se contracte pas, ne se fendille pas et des fentes préexistantes peuvent même se refermer complètement ; enfin il résiste mieux au feu et à l'humidité, dont il ne se laisse plus pénétrer, et son volume ne varie plus.

On ne connaît pas exactement les phénomènes qui se passent dans le bois après cette immersion, mais il est probable qu'ils s'accompagnent d'une modification chimique du sucre dans les fibres ligneuses. Contrairement à ce que l'on pourrait croire, ce sucre ne peut plus être enlevé par l'eau et, quel que soit le bois mis en expérience, on a pu démontrer que le bois traité ainsi absorbe une quantité d'eau beaucoup plus faible que le bois non préparé; un bloc de hêtre, par exemple, traité au sucre et plongé pendant quatorze jours dans l'eau, n'a absorbé que le sixième de la quantité d'eau dont s'est imprégné un bloc de même valeur et plongé dans l'eau sans avoir subi de préparation.

Les plus grands avantages de ce traitement consistent dans le gain très net en résistance, ce qui a une grande importance pour la construction ; ajoutons que les bois de conifères n'augmentent pas en poids par ce traitement, mais qu'ils deviennent au contraire plus légers.

Les bois légers se comportent différemment ; ainsi le peuplier devient, après son immersion, deux fois plus lourd et aussi compact que le hêtre. Ce dernier augmente de 50 p. c. en poids, ne se fend plus et acquiert la dureté du métal. Le chêne, l'acajou, etc. augmentent d'environ 12 p. c. en poids. Cette propriété, acquise par le bois traité au sucre, de se fendiller moins facilement va probablement révolutionner le pavage en bois, car les objections hygiéniques qui ont été faites contre ce genre de pavés — rétention de l'humidité et de matières organiques et formation d'un véritable milieu nutritif pour les bactéries — tomberont d'elles-mêmes puisque, traités par le sucre, ces pavés ne laisseront presque plus pénétrer l'humidité. Les expériences ont d'ailleurs démontré que les pavés ainsi traités possédaient la dureté du granit.

Si certains bois de peuplier fendillés peuvent facilement être privés de leurs fentes par le traitement au sucre, les résultats sont moins beaux avec le chêne. Au point de vue de la résistance au feu, on a constaté qu'un bloc de sapin était consumé en 25 minutes sans traitement préalable et tombait complètement en cendres après avoir été brûlé, tandis qu'un bloc du même bois traité par le sucre exigeait 32 minutes pour être

consumé et conservait encore après la combustion sa forme primitive.

Cette méthode de conservation est peu onéreuse, si on la compare aux avantages qu'elle présente ; du bois de peu de valeur peut être rendu utilisable, des bois légers peuvent servir de bois de construction ; ils peuvent être coupés à l'état jeune et l'on n'aura pas à craindre le fendillement, etc. Cette méthode qui semble donner de si beaux résultats avec nos bois européens devrait être essayée avec certains bois exotiques, soit pour l'emploi aux colonies, soit pour l'emploi comme bois d'ébénisterie en Europe.

L'Eucalyptus et la fièvre paludéenne. — Les expériences entreprises depuis longtemps ont démontré pour les régions peu salubres de la campagne romaine, les marais de l'Algérie et des États-Unis que les *Eucalyptus*, et en particulier l'*Eucalyptus globulus*, possèdent la propriété d'assécher les contrées marécageuses et de supprimer dans les régions humides les fièvres malariennes. On avait cru pouvoir rattacher cette propriété d'asséchement du sol à une transpiration foliaire intense. Un botaniste français, M. Griffon, vient de démontrer la fausseté de cette hypothèse. La transpiration des feuilles des *Eucalyptus* au lieu d'être très active est trois à quatre fois plus faible que celle de nos arbres indigènes tels que le saule, les bouleaux et le frêne, qui sont parmi les arbres de nos régions ceux dont la transpiration est la plus active.

L'action d'asséchement que les *Eucalyptus* exercent sur le sol est due à la propriété que possèdent ces arbres de produire en un temps relativement très court un très grand nombre de feuilles, et c'est pour la formation de ces feuilles que la plante a besoin de l'eau qu'elle doit tirer uniquement du sol.

Le commerce des fruits aux Antilles. — Les Antilles fournissent actuellement une grande quantité de citrons à l'Amérique du Nord, et cette année ce commerce a été particulièrement productif : malgré leur qualité médiocre, les citrons ont été achetés sur place à un prix qui n'avait pas été atteint jusqu'ici, soit de 8,75 fr. par baril.

A la Dominique on peut récolter de 240 à 480 barils à l'hectare, ce qui fait, au taux de 8,75 fr., un revenu brut de 2100 fr. pour les cultures les moins favorisées.

L'emballage pratiqué dans la région est des plus simples : les

citrons à conserver sont placés dans des récipients contenant de l'eau de mer, qui doit être changée tous les deux jours pendant une quinzaine de jours, période exigée pour une bonne préparation. Quand l'eau ne se colore plus, on introduit les citrons dans des fûts à vin par le trou de la bonde et, quand le fût est bien rempli, on ajoute de l'eau de mer fraîche.

Mais on peut opérer autrement et obtenir un prix plus rémunérateur : on enveloppe les citrons dans du papier de paille et on les entasse, ainsi entourés, dans un tonneau perforé.

L'emballage en tourbe a, paraît-il, donné également de très bons résultats pour l'expédition de divers fruits, même pour l'ananas ; un chargement de fruits coloniaux emballés de cette façon a dû arriver dans le courant de cet été en France, mais nous n'avons point trouvé de renseignements sur les résultats de cette expérience qui, au dire de certains importateurs, devait être décisive et permettre au commerce européen de s'approvisionner facilement de fruits tropicaux.

Bananes et ananas. — Depuis quelques années l'attention est fortement attirée sur les fruits tropicaux ; la banane et l'ananas, entre autres, ont acquis une importance considérable. Il y a dix ou quinze ans, les États-Unis de l'Amérique du Nord ignoraient, ou peu s'en faut, les bananes ; ils en ont importé au cours de ces dernières années plus de 50 000 000 de régimes. D'autres pays ont suivi cet exemple et le commerce de la banane devient de plus en plus important dans plus d'une île des Antilles, dans l'Amérique du Sud, aux Canaries, etc. Le Costa-Rica est un des principaux centres de production américaine : les bananeraies y couvrent une superficie de 17 000 hectares et, d'année en année, on y voit augmenter la surface dévolue à cette culture. Le zèle des planteurs est stimulé par l'*United Fruit Company* de Boston qui a monopolisé ce commerce et donne toute facilité aux producteurs. Non seulement cette puissante association américaine fait l'achat de fruits, mais elle fait elle-même le transport et, depuis peu, en a entrepris la culture. Voici quelles ont été depuis 1899 les exportations pour Costa-Rica :

1899	2 962 741 régimes
1900	3 420 156 „
1901	3 870 156 „
1902	4 174 199 „
1903	5 139 863 „

Elles représentent la valeur de 12 000 000 de francs. La plus grande partie de cette production est destinée aux États-Unis, le reste à Manchester. Pendant l'année 1903, 200 steamers chargés surtout de bananes ont quitté Limon à destination des États-Unis, 25 à destination de Manchester.

La question de la culture des bananes est très importante pour l'Afrique tropicale, et il n'est peut-être pas impossible, au prix de certains soins, de rendre pratique la culture de la banane et de l'ananas au Congo.

A ce dernier point de vue, l'ouvrage que M. Yves Henry, inspecteur en chef du Service de l'Agriculture de l'Afrique occidentale française, vient de consacrer à ces deux fruits, avec la collaboration de MM. Ammann et Teissonnier, a donc pour nous un grand intérêt (1). Comme le fait ressortir M. Henry, la côte d'Afrique est tout indiquée pour cette culture ; les essais qui y ont été faits, en petit il est vrai, ont démontré non seulement la possibilité mais la facilité de l'entreprise.

Le travail de M. Henry n'est pas, comme il le dit lui-même, un traité classique de la question, mais un exposé pratique de la situation du commerce des fruits tropicaux en Guinée Française; ce qu'il a voulu, c'est donner aux intéressés les indications nécessaires pour créer des exploitations agricoles pratiques. On peut dire qu'il a bien réussi, car son travail, où il étudie d'une manière détaillée le climat et le sol de la Guinée, les terrains cultivables en bananeraies et pouvant fournir un certain nombre de centres de culture, donne tous les renseignements désirables au planteur désireux de se livrer à cette exploitation dans la région envisagée ou dans d'autres régions similaires. Ajoutons que la culture elle-même est traitée en détail par M. Teissonnier et que nous trouvons dans ce livre une énumération très fournie des variétés cultivables avec l'indication de leur valeur soit pour l'expédition à l'état frais, soit pour la production de la farine de bananes ou de bananes sèches.

L'ananas, qui intéresse peut-être moins le planteur congolais puisque sa préparation exige plus de main-d'œuvre, est envisagé aussi très longuement par M. Y. Henry.

La cinquième partie de son mémoire, orné de nombreuses figures dans le texte et de planches hors texte, donne le devis d'une plantation de bananiers s'étendant sur 20 hectares et pos-

(1) *Bananes et Ananas.* Production et commerce en Guinée Française. Paris, Aug. Challamel, 17, rue Jacob, 1904-1905.

sédant en outre un terrain suffisant pour l'établissement de cultures vivrières, de pâturages et de dépendances. L'auteur évalue, sans que nous puissions entrer dans le détail de son exposé, les dépenses pour cette exploitation de 20 hectares à environ 120 000 francs, études préparatoires comprises, soit 6000 francs par hectare. A partir de la troisième année d'exploitation, la bananeraie ainsi installée donnerait un rendement suffisant pour couvrir le passif de la deuxième année et les frais de culture ; dès la quatrième année le bénéfice, en estimant la production à 60 000 régimes vendus seulement à 3 francs pièce, serait de 80 000 francs. L'auteur estime qu'à la fin de la dixième année les 120 000 francs d'installation seraient totalement amortis et que le bénéfice net s'élèverait à 420 000 francs.

Il serait difficile de trouver parmi les plantes de grande culture, un type capable de donner un bénéfice aussi considérable. L'installation des bananeraies mérite donc d'être examinée sérieusement, et on ne pourrait assez conseiller la lecture du livre de M. Henry à tous ceux qui se livrent en Afrique à la culture de la banane, même comme plante vivrière.

Les mycorhizes des racines latérales du vanillier et des poivriers.—Depuis assez longtemps on avait remarqué que ces deux plantes se développent le mieux lorsqu'elles sont mises en contact avec des supports vivants. On ne connaissait pas la cause de cette particularité. M. H. Jacob de Cordemoy, de l'Université de Marseille, vient d'établir, dans deux notes présentées successivement à l'Académie des Sciences de Paris, que c'est un mycélium de champignon, une mycorhize, qui met en relation morphologique et physiologique la vanille sur support et que le même phénomène se présente chez plusieurs espèces de poivriers. Il avait été démontré depuis longtemps par l'expérience que les poivriers dont les racines aériennes s'appliquent sur des supports vivants fleurissent et fructifient abondamment, tandis que ceux à racines aériennes grimpant sur bois mort donnent beaucoup moins.

Chez le *Piper nigrum* L. ou poivrier noir, chez le *Piper cubeba* ou cubèbe, chez le *Piper Betle* ou poivrier Betle, de même que chez le vanillier, les racines aériennes qui naissent plus ou moins nombreuses aux nœuds de la tige sont associées en symbiose avec des mycorhizes qui établissent un rapport étroit entre elles et les tuteurs vivants contre lesquels elles s'appliquent. Ce mycelium *endophyte* des racines envoie directe-

ment des rameaux vers l'extérieur *(ectophyte)* et ces rameaux pénètrent dans le liège du support ; il est certain que l'association favorise la végétation et que, grâce à cette union intime de la plante grimpante et de son support, les matières nutritives arrivent plus facilement au vanillier et aux poivriers qui deviennent dès lors de vrais parasites.

La formation du miel. — Le miel est, comme on le sait, produit par les abeilles qui le fabriquent à l'aide du nectar qu'elles puisent dans les fleurs. Les transformations successives de ce nectar ont été étudiées récemment par un chimiste anglais, M. W. A. Selser.

Le nectar que l'abeille extrait de la fleur est liquide et très peu parfumé ; une fois dans la bouche de l'abeille, ce liquide subit une transformation plus ou moins profonde : il s'y forme de la levulose et de la dextrose, grâce aux sécrétions des glandes salivaires de la tête et du thorax. Le miel ainsi obtenu est loin encore de ressembler au miel que nous connaissons ; il est déposé par l'abeille dans les cellules cireuses où il est évaporé sous l'action mécanique des ailes de l'insecte, il perd ainsi 50 °/o de son poids. C'est à cet état que l'abeille l'enferme, il est alors constitué par une masse solide dans la proportion de 75 à 85 °/o, le reste étant encore de l'eau.

Les propriétés du miel d'après les auteurs arabes. — M. Colas, vice-président de la Société des Apiculteurs algériens, a publié, dans le Bulletin de la Société d'Agriculture du département de Constantine, la traduction résumée des appréciations sur le miel d'un médecin et botaniste arabe, Abdallah ben Ahmed, plus connu sous le nom de Ibn el Beïthar, " le fils du vétérinaire ", né vers la fin du XIIe siècle à Benana, près de Malaga. Après avoir parcouru le sud de l'Europe et l'Égypte, il se fixa à Damas où il devint intendant général des jardins de Malek el Kamil ; c'est là qu'il mourut en 1268. Le livre qu'il a laissé s'inspire de ceux de Dioscoride, de Galien et d'Oribase, et des observations personnelles de l'auteur. Le chapitre consacré aux médicaments simples nous donne sur le miel les renseignements suivants. Le meilleur miel serait celui de Sicile, " Sekelious " ; à une douceur incomparable il unirait un parfum exquis. Ibn el Beïthar estime que le miel qui se laisse étirer en filaments, ne résistant pas à la rupture, renferme de multiples impuretés, que son emploi peut être dangereux et qu'il est toujours de digestion difficile.

Le miel agirait sur le système nerveux et sur le sang. Appliqué sur des blessures profondes, des ulcères suppurants ou gangrenés, il détruirait le germe du mal et cicatriserait les plaies ; ce serait donc un puissant antiseptique.

Avec Dioscoride, il recommande l'emploi du miel cuit, mélangé de sel gemme pulvérisé ; préparé de cette façon, il accélérerait la guérison des plaies, et quelques gouttes, versées dans l'oreille, calmeraient les douleurs les plus vives. Ce mélange aurait d'autres propriétés encore : il serait capable de détruire toute vermine, d'aider au développement de l'organisme humain, d'agir sur les sens, même sur la vue, pour les améliorer. Ce serait en outre un parfait dentifrice, produisant des effets heureux sur les dents et les gencives ; en gargarisme, il guérit les maux de gorge, les affections de la bouche et des glandes salivaires. Ce même mélange de miel cuit et de sel, additionné d'essence de rose et absorbé chaud, serait un remède souverain contre la bronchite, contre l'empoisonnement par les champignons, contre la morsure des chiens enragés. Enfin, propriété plus sûre et moins oubliée, le miel se recommande pour son action laxative et purgative.

Le miel de Sardaigne aurait aussi, d'après notre auteur, des vertus spéciales parce qu'il est butiné sur les absinthes ; ce miel, dit-il, est non seulement savoureux, mais, si on s'en lave le corps comme on le ferait avec du savon, il devient un excellent préservatif contre les affections cutanées.

Il ajoute qu'il existe une contrée " Arkelia-Entifi „ (?) où croît une fleur qui donne au miel la propriété de rendre fou celui qui en fait usage ; cette folie heureusement ne serait pas sans remède : on s'en guérit en absorbant du poisson salé, arrosé d'une boisson fermentée " Aouïonnali „. Ce miel méchant serait d'ailleurs facile à reconnaître à l'odeur âcre qu'il dégage et qui fait éternuer quand on l'aspire fortement.

Matières colorantes employées par les indigènes des Indes Néerlandaises pour colorer leurs aliments. — Dans un très remarquable ouvrage sur l'alimentation aux Indes Néerlandaises, M. le Dr C. L. van der Burg (1) consacre un paragraphe aux matières que les indigènes employent pour colorer leurs aliments. Ils ont recours à des matières blanches, noires, brunes, rouges, jaunes, rouge-orangées, vertes, bleues. Pour orner de

(1) *Voeding in Nederlandsch Indië*, door Dr C. L. van der Burg. Amsterdam, J. H. de Bussy, 1904.

blanc certains aliments, l'indigène râpe très finement la couche interne de la noix de coco, épuise cette poudre par l'eau, filtre au travers d'un linge et, faisant cuire de l'amidon dans ce liquide, il obtient une masse gélatineuse dont il fabrique les ornements de ses plats. Il se sert également des graines blanches de certaines variétés de sésame.

On emploie, pour teindre en noir divers gâteaux chinois, du charbon végétal obtenu par incinération de feuilles du cocotier ou de l'*Anaphalis longifolia* DC. Parfois aussi on agrémente les pâtisseries de dessins tracés avec les petites graines noires et luisantes du *Celosia argentea*, plante assez répandue dans les régions tropicales, ou avec celles de diverses races de sésame à graines noires.

La seule matière colorante qui serve à brunir est le caramel du sucre de cannes.

Les matières rouges sont souvent d'origine européenne, c'est de la fuchsine ou de l'éosine avec lesquelles on colore certaines boissons. Il y a également une matière colorante " Ang Khak ", fabriquée dans certains villages du Kwangtun (Chine) et dont la préparation est conservée secrète. On sait cependant que pour reproduire cette matière rouge-grenat, il faut en posséder une certaine quantité. Du riz cuit et refroidi est saupoudré de poudre d' " Ang Khak ", et six jours plus tard il est coloré en rouge et couvert d'une couche de moisissure. On pulvérise les grains, ce qui se fait assez facilement ; au microscope on reconnaît dans cette poudre la présence d'hyphes et de spores qui paraissent devoir faire rapporter le champignon au genre *Telebolia*.

Cette matière colorante est parfois employée pour colorer des vins ou des liqueurs falsifiés.

Une autre matière colorante rouge, également d'origine chinoise, est celle qui est obtenue par le mélange d'amidon et d'une décoction de *Caesalpinia sappan* L., ou campêche, et de safran, c'est-à-dire des stigmates de *Carthamus tinctorius* ; ces deux éléments sont parfois employés seuls. L'infusion de campêche joint au jus de citron sert, entre autres, à colorer le thé.

L'*Iresine Herbstii* Hook., une amarantacée, donne, par le froissement de ses feuilles, une matière colorante en usage surtout pour la coloration de l'agar-agar ; pour obtenir le même résultat, on emploie aussi les feuilles de la variété à feuilles rouges de l'*Hibiscus Rosa-sinensis*. Le suc de ces feuilles est exprimé et mélangé à du jus de citron : ce mélange sert parfois à donner de la couleur à la compote d'ananas ou au chou blanc.

Dans cette préparation les baies du *Basella rubra* L. peuvent remplacer les feuilles d'*Hibiscus*, mais il paraît que la consommation de produits colorés en foncé par ce mélange pourrait produire des étourdissements.

Les feuilles des *Freycinetia imbricata* Bl. et *strobilacea* Bl., très employées par les Chinois, le sont aussi aux Indes Néerlandaises.

Quant à la couleur jaune, elle est obtenue de la pulpe des fruits des divers *Gardenia* et en particulier du *G. Jasminoides* Ell., des rhizomes du *Curcuma longa* L., du bois de cœur de l'*Artocarpus integrifolia* et du *Bixa orellana* ou rocouyer. On sait d'ailleurs que la matière colorante jaune-rougeâtre extraite de cette dernière plante, très répandue actuellement dans les régions tropicales, est employée en grand pour colorer le beurre et le fromage ; on la rencontre dans le commerce sous le nom d'*arnatto*.

La couleur rouge-orangée est obtenue généralement en mélangeant des matières colorantes jaunes et rouges, fréquemment même par l'emploi de l'éosine.

Le vert s'obtient en traitant les feuilles de certaines *Cordylines*, du *Clitorea ternatea*, de *Sauropus albicans* Bl., de *Phaseolus lunatus* L., de *Pandanus odoratissimus* par la chaux ou simplement par l'eau.

Quant au bleu, l'indigène le trouve dans les couleurs artificielles telles que le bleu d'aniline ou d'outremer de fabrication européenne, mais ces matières, de même que l'indigo, ne sont que rarement employées car elles sont d'un goût désagréable; la matière colorante bleue, la plus en usage, provient du *Clitorea ternatea* L. On emploie à cet effet la variété à fleurs très colorées ; les pétales sont épuisés par l'eau qui, après filtration, devient le colorant.

Il serait intéressant de voir les enquêtes, qui ont conduit à ces données aux Indes, se poursuivre dans d'autres régions tropicales. Il est grand temps que l'on cherche à se rendre compte des éléments qui entrent dans l'alimentation des indigènes de diverses régions; car, dès que les habitudes européennes auront pénétré un peu partout, il ne sera plus possible de séparer les us et coutumes anciens des usages introduits et plus ou moins modifiés. Il y a là une série d'études anthropologiques de valeur à tenter.

É. D. W.

ETHNOGRAPHIE

—

La Station palustre de Denterghem. — On a découvert des vestiges d'habitations lacustres dans un grand nombre de contrées de l'Europe. Géographiquement, on peut les ranger en deux groupements ; avec M. Heierli (1), dans sa belle monographie sur la préhistoire de la Suisse, on distingue les stations lacustres de l'Europe centrale ; un second groupe contient les crannoges (2) des Iles Britanniques et les stations lacustres du nord de l'Allemagne.

Un autre point digne de remarque que M. Heierli et d'autres auteurs ont bien soin de noter, c'est que les habitations lacustres n'appartiennent pas toutes à la même époque, que ce mode d'ériger des demeures sur pilotis a commencé à l'époque néolithique pour durer jusqu'aux temps historiques avec des périodes différentes d'éclosion, de prospérité et de déclin pour diverses régions. Il résulte de ce fait qu'il ne faut point parler de peuples lacustres.

D'après certains auteurs, nous voyons les Lacustres pénétrer en Europe par la grande voie du Danube et de ses affluents.

A notre avis, la coutume d'élever des habitations sur l'eau n'est pas due aux migrations des Lacustres ; c'est la coutume elle-même qui s'est propagée, et il se peut que l'habitude de bâtir sur pilotis nous soit venue des régions voisines de la Mer Noire. Hérodote ne décrit-il pas, dans un passage souvent rapporté, une cité lacustre établie sur le lac Prasias? Cette coutume s'est peut-être étendue vers Laibach par la Drave et la Save, pour gagner la vallée du Pô. Par le cours du Danube, elle peut avoir atteint Schussenried dans le Wurtemberg pour se répandre en Suisse par le lac de Constance et se propager en Savoie par le lac de Genève.

Beaucoup de lecteurs ont peut-être des idées plutôt vagues de ce que l'on entend par habitations lacustres.

Quand on parcourt les musées ethnographiques, on peut s'assurer que certaines tribus ont l'habitude de construire leurs huttes sur l'eau ; elles fixent des pilotis dans le fond d'un lac ou

(1) J. Heierli, *Urgeschichte der Schweiz*, Zürich, 1901, p. 103.

(2) Un *crannoge* a été découvert dans un nouveau bassin du port de Zeebrugge, en juillet 1904.

d'un marais ; aux pieux elles attachent des poutres placées horizontalement et sur cette construction repose un plancher, sur lequel elles établissent leurs demeures et les étables de leurs animaux domestiques ; elles gagnent la rive en canot ou sur un pont. Cette coutume est très ancienne ; elle date de l'âge de la pierre polie.

Il va sans dire que ces anciennes constructions ne se sont pas maintenues jusqu'à nos jours ; comment faut-il donc se figurer un gisement lacustre ?

Les habitations ont été souvent détruites par le feu ; d'autres fois, les stations ont été abandonnées par les occupants ; en ce cas, elles se sont peu à peu effondrées dans le lac ou le marais. Les pieux, en bois de chêne, se sont conservés au fond du lac et entre ces pilotis on trouve les objets qui étaient à l'épreuve de la destruction, comme les instruments en silex, en corne et en os, les armes ou les ornements en bronze, les débris de poterie ou d'ustensiles en pierre ou en métal.

Quand il s'agit d'un marais, la tourbe a envahi peu à peu l'emplacement de la bourgade palafittique ; les pieux et les objets perdus ou abandonnés par les anciens habitants se conservent dans les couches tourbeuses, recouvertes au cours des siècles par les alluvions d'une rivière ou d'un ruisseau.

Comment a-t-on pu tirer de l'oubli ces vestiges si captivants d'une civilisation disparue depuis tant de siècles ?

La correction des eaux d'une région ou les vicissitudes de la température peuvent abaisser le niveau d'un lac ; en ce cas, les pieux deviennent visibles et la station lacustre est rendue accessible ; d'autres fois, d'habiles et ingénieux chercheurs ont utilisé divers procédés de dragage.

Un heureux hasard, le creusement d'un puits ou d'un fossé peuvent amener au jour l'un ou l'autre objet révélateur, enseveli depuis des siècles dans la tourbe d'un ancien marais, et puis un long et dispendieux travail est exigé pour enlever les couches d'alluvions, épaisses souvent de deux à trois mètres, et examiner la tourbe qui renferme les vestiges de la palafitte.

C'est à Denterghem, au mois de septembre 1899, dans une prairie marécageuse, sur le bord d'un ruisseau, que les premiers vestiges importants et méthodiquement fouillés de palafittes ont été découverts en Belgique (1).

(1) Des vestiges très intéressants d'une nouvelle station palustre ont été découverts, au mois de mai 1904, dans les travaux exécutés au *Neckerspoel* à Malines.

C'est la *Société d'Archéologie de Bruxelles* qui fit cette découverte et entreprit les fouilles, lesquelles se sont poursuivies à différentes reprises, pendant quatre années consécutives ; c'est aussi dans les Annales de cette Société que les trouvailles de cette station sont étudiées en détail (1).

Elles sont de nature très diverse et de toutes les époques. Les pilotis ont-ils été renouvelés de temps en temps et la station a-t-elle été occupée sans interruption, depuis l'âge néolithique jusqu'à l'invasion des Francs ? On peut arriver à cette conclusion quand on considère les objets qui ont été récoltés dans les fouilles. Nous reconnaissons d'abord l'outillage et les débris de la poterie grossière des néolithiques. Les instruments en silex sont tous de petite dimension ; les néolithiques ont rarement utilisé les cailloux roulés, qu'ils pouvaient ramasser aux alentours de leur petite cité ; cette matière première était trop grossière pour façonner un outillage, souvent retouché avec une grande finesse ; les assises crétacées faisant défaut dans la région, ils importaient, des carrières d'extraction préhistoriques de Spiennes et d'Obourg, des blocs et des rognons qu'ils travaillaient sur place : les polissoirs, les percuteurs et les déchets de taille en témoignent.

La pièce la plus remarquable que nous ayons recueillie est une pointe de flèche triangulaire de 45 millimètres de longueur, munie d'ailerons et d'un pédoncule ; il paraît que c'est la plus belle qu'on puisse voir à Bruxelles, et nous n'avons observé que deux pointes analogues dans les musées de la Suisse.

Des instruments en os et en corne de cerf viennent compléter l'outillage : il y a des haches, des marteaux, des manches de ciseaux et des gaines de haches en corne de cerf ; les gaines de haches sont munies d'une ouverture pour recevoir la hache en silex et pourvues, dans leur partie supérieure, d'un trou pour adapter le manche en bois avec lequel on maniait l'instrument.

Le plus beau spécimen en corne de cerf est un instrument aratoire : c'est une espèce de pioche, formée d'une portion de ramure, d'une forme bien plus élégante que le pic analogue qui figure sous le n° 715 dans le *Musée préhistorique* de MM. de Mortillet.

Des meules dormantes en grès tertiaire, semblables à celles

(1) Annales de la Société d'Archéologie de Bruxelles, tome XV, 1901, tome XVI, 1902 et tome XVII, 1903. Une première notice a été consacrée aux objets en bronze, une seconde aux objets en corne et en os et une troisième aux objets belgo-romains.

qu'on rencontre dans certains dolmens, attestent que les néolithiques de Denterghem se livraient à la culture des champs.

On n'est pas fixé en Belgique sur la portée d'un âge distinct du bronze : on n'a pas fait assez de découvertes, on ne connaît pas de centres d'occupation dont les habitants aient fait un usage exclusif d'instruments et de parures en bronze.

Ce sont peut-être les néolithiques ou les hommes du premier âge de fer qui ont utilisé une hache en bronze ou se sont procuré des ornements en bronze chez des colporteurs étrangers ou des fondeurs nomades.

Nous avons recueilli à Denterghem quelques objets de parure qui présentent une ressemblance frappante avec les bronzes lacustres de l'Europe centrale. Il y a une petite plaque en forme de croissant dont il est difficile de conjecturer la destination : elle ne ressemble pas aux nombreuses pendeloques que l'on a trouvées en Suisse et, si elle a la même forme que beaucoup de rasoirs de l'âge du bronze, il lui manque le tranchant pour la rapprocher de cette catégorie d'instruments. Parlons encore d'une perle en bronze, qui est un échantillon assez curieux ; nos savants confrères, MM. Siret, ont recueilli en Espagne beaucoup de perles en bronze : elles ont une forme allongée comme toutes celles que l'on connaît ; un seul exemplaire ressemble à celui de Denterghem et a été amené au jour dans les fouilles de la station de Wollishofen, sur le lac de Zurich.

L'âge du fer n'est pas dénué d'intérêt non plus, parce que les habitants de la station palustre ont connu et pratiqué l'industrie de ce métal. Nous avons recueilli un morceau de grand moule en terre, que nous n'avons pu identifier avec aucun objet aperçu dans les musées ; nous avons remarqué encore de la limonite, des scories, des rejets et des fragments de culots de fusion ; une urne bien conservée en poterie noire semble aussi dater de la même époque.

C'est un fait avéré que dans certaines stations lacustres de la Suisse, on a recueilli des antiquités romaines. La palafitte de Denterghem a été également occupée pendant l'époque romaine, qui nous a laissé une monnaie en grand bronze de Trajan, le fond d'un vase en *terra sigillata* avec le sigle connu CONATIVS F qu'on a trouvé aussi à Enns en Autriche, à Hufingen dans le grand-duché de Bade et à Hochmauern en Bavière, une fibule en bronze, qui se rattache au groupe des fibules de *la Tène* et une petite lampe en terre blanche à couverte noire.

Le fond du marais que nous avons exploré, renfermait aussi

un grand nombre d'ossements d'animaux qu'il sera utile d'étudier au point de vue de l'histoire naturelle. Beaucoup d'os longs d'animaux étaient brisés intentionnellement pour en extraire la moelle. Les ossements appartenaient au renard, au loup, au cheval, au sanglier, au cerf, à la chèvre et au bœuf. Un frontal d'urus *(Bos primigenius Boj)* était muni de noyaux de cornes et figurait vraisemblablement un trophée de chasse.

Ces dernières récoltes devront être comparées à celles qui proviennent des cités lacustres de la Suisse et du grand-duché de Bade, qui se voient en grand nombre au musée de Constance et qui ont été étudiées avec une si grande compétence par les naturalistes de la Suisse.

J. Claerhout.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE

—

Irving Fisher. — Kurze Einleitung in die Differential- und Integralrechnung, aus der durch mehrere verbesserungen des Verfassers vervollständigten dritten englischen Ausgabe übersetzt von **N. Pinkus.** Un vol. in-8° de 72 pages, avec 11 figures dans le texte. — Leipzig, B. G. Teubner, 1904.

Exposé élémentaire, appuyé sur des exemples très simples, des premières notions du calcul différentiel et du calcul intégral.

O. Schlömilch. — Übungsbuch zum Studium der höheren Analysis. Erster Teil : Aufgaben aus der Differentialrechnung. Fünfte Auflage. Bearbeitet von Dr. **E. Naetsch.** Un vol. in-8° de 372 pages, avec 85 figures dans le texte. — Leipzig, B. G. Teubner, 1904.

Le succès constant de ce recueil prouve assez son mérite excellent. On y trouve un millier d'exercices sur la technique du calcul différentiel et ses applications à l'analyse et à la géométrie.

Otto Stolz und **J. Anton Gmeiner.** — Einleitung in die Funktionentheorie. Zweite umgearbeitete und vermehrte Auflage der von den Verfassern in der *Theoretischen Arithmetik* nicht berücksichtigten Abschnitte der *Vorlesungen über allge-*

meine Arithmetik von O. Stolz. In zwei Abteilungen. I. Abteilung. Un vol. in-8° de VI-242 pages, avec 10 figures dans le texte. — Leipzig, B. G. Teubner, 1904.

L'éloge de cet ouvrage n'est plus à faire, et les noms de ses auteurs en garantissent la très grande valeur. Voici un résumé de la table des matières de la première partie : I. Die reelle Veränderliche und ihre reellen Fonktionen. — II. Reelle Funktionen von zwei und mehr reellen Veränderlichen. — III. Komplexe Veränderliche und Funktionen. — IV. Die ganzen rationalen Funktionen. — V. Die ganzen Potenzreihen.

La seconde partie contiendra : VI. Kriterien für die Konvergenz und Divergenz der unendlichen Reihen. — VII. Begriff der monogenen analytischen Funktion einer Veränderlichen nach Weierstrass. — VIII. Die Kerisfunktionen. — IX. Die unendlichen Produkte. — X. Die endlichen, und XI. Die unendlichen Kettenbrüche.

Arthur Gordon Webster. — The Dynamics of Particles and of rigid, elastic and fluid Bodies, being lectures on mathematical Physics. Un vol. grand in-8° de XII-588 pages, avec 172 figures dans le texte. — Leipzig, B. G. Teubner, 1904.

Ces leçons originales et très fournies forment un traité de mécanique physique d'un grand intérêt. Elles s'adressent surtout aux étudiants qui, rompus au calcul différentiel et intégral, ont suivi déjà un cours de mécanique rationnelle et veulent compléter leurs connaissances en cette dernière science, en vue surtout de l'étude de la physique mathématique.

Arwed Fuhrmann. — Aufgaben aus der analytischen Mechanik. Übungsbuch und Literaturnachweis für studierende der Mathematik, Physik, Technik usw. In zwei Teilen. Erster Teil : Aufgaben aus der analytischen Statik fester Körper. Dritte, verbesserte und vermehrte Auflage. Un vol. in-8° de XII-206 pages, avec 34 figures dans le texte. — Leipzig, B. G. Teubner, 1904.

Excellent recueil, qui rappelle celui du P. Jullien. Les très nombreux renseignements bibliographiques qu'il contient le rendent doublement précieux et justifieraient à eux seuls son brillant et légitime succès.

P. Vaillant et **J. Thovert.** — Manipulations de Physique. Premier volume : *Physique générale ;* second volume : *Électri-*

cité industrielle. Un vol. in-8° de 106 et 102 pages, suivies de 23 pages de tables pour les calculs numériques. — Paris, Ch. Béranger.

Manuels à l'usage des élèves de l'enseignement secondaire, des écoles d'agriculture, de commerce et d'industrie, des candidats au certificat d'études P. C. N. et aux certificats d'études supérieures. Ils réalisent très bien leur but : initier les débutants aux principes théoriques et expérimentaux qui servent de base aux mesures physiques, et guider leurs premiers pas dans le travail du laboratoire.

J. J. Thomson. — Electricity and Matter. Un vol. in-8° de 162 pages, avec figures dans le texte. — Westminster, Archibald Constable and C°, 1904.

Exposé excellent et personnel, de lecture facile, des dernières conquêtes dans le domaine de l'électricité et de la radio-activité, et des vues qu'elles suggèrent sur la constitution de la matière. Voici les titres des six chapitres qui se partagent ces leçons du plus haut intérêt : I. Représentation du champ électrique par les lignes de force. — II. Masse électrique et masse liée *(bound mass)*. — III. Effets dus à l'accélération des tubes de Faraday. — IV. La structure atomique de l'électricité. — V. La constitution de l'atome. — VI. Radio-activité et substances radio-actives.

Lucien Mottez. — La Matière, l'Éther et les Forces physiques. Un vol. grand in-8° de 236 pages. Extrait des Mémoires de la Société nationale des Sciences naturelles et mathématiques de Cherbourg. — Paris, Gauthier-Villars ; Cherbourg, Em. Le Maout, 1904.

Voici, emprunté à l'introduction, le plan de l'ouvrage qui intéressera les lecteurs curieux de théories explicatives des phénomènes physiques et chimiques.

" Dans la première partie, j'expose les différentes hypothèses que je fais sur le jeu des forces physiques ; je développe les considérations qui ont amené à les admettre, et je guide l'esprit du lecteur pour qu'il conçoive ce que des comparaisons ne représenteront jamais qu'imparfaitement. Les trois premiers chapitres sont consacrés à combattre les notions fausses que les théories classiques ont pu laisser dans l'esprit sur la matière, l'éther, les forces et le mouvement. Dans les chapitres suivants, je développe la genèse hypothétique des forces de la nature, pour préciser la façon dont ces forces doivent être conçues.

„ Les hypothèses sont alors établies ; mais pour en faire com-

prendre la portée, j'expose, dans la seconde partie, l'application de ces hypothèses à l'explication d'un certain nombre de phénomènes physiques et chimiques. „

Henri Poincaré. — Wissenschaft und Hypothese. Autorisierte deutsche Ausgabe, mit erläuternden Anmerkungen, von **F.** und **L. Lindemann.** Un vol. in-8° de 342 pages. — Leipzig, Teubner, 1904.

Cette traduction du livre bien connu de M. Poincaré, *La Science et l'Hypothèse*, est enrichie d'une centaine de pages de notes bibliographiques, de compléments historiques et mathématiques, formant un commentaire parfois indispensable, et toujours très précieux et très intéressant, du texte du savant français.

Dr Kurt Geissler. — Anschauliche Grundlagen der mathematischen Erdkunde zum Selbstverstehen und zur Unterstützung des Unterrichtes. Un vol. in-8° de 200 pages, avec 52 figures dans le texte. — Leipzig, Teubner, 1904.

Bonne cosmographie élémentaire, claire et suffisamment complète, qui peut être lue avec fruit par les élèves de l'enseignement moyen et même par les auditeurs des cours d'astronomie physique.

Annuaire pour l'an 1905, publié par le Bureau des longitudes. Un vol. in-16 de IV-669-74-44 pages. — Paris, Gauthier-Villars.

Le présent *Annuaire* contient les Tableaux détaillés relatifs à la Métrologie, aux Monnaies, à la Géographie et à la Statistique, ainsi qu'à la Météorologie. Il ne contient pas les données physiques et chimiques réservées au volume de 1906. Une notice scientifique intitulée *Explication élémentaire des marées*, par M. P. Hatt, complète l'exposé commencé dans l'*Annuaire* de l'an dernier.

Annuaire pour l'an 1905, publié par la Société belge d'Astronomie. Un vol. in-8° de 214 pages, avec 40 figures. — Bruxelles, Larcier, 1905.

Un des meilleurs guides que puissent choisir les gens du monde qui s'intéressent aux observations astronomiques et météorologiques. Le présent volume contient des tables et des articles scientifiques parmi lesquels nous signalons tout spécialement la notice de M. J. Vincent sur *La détermination de la température de l'air, de l'évaporation et de l'humidité* (pp. 144-187).

P. M. Gutiérrez-Lanza, S.-J. — Apuntes historicos acerca del Observatorio del Colegio de Belen, Habana. Un vol. in-8° de 178 pages, avec 4 planches hors texte. — Habana, Imprenta Avisador Comercial, 1904.

Le Collège de Belen, fondé à la Havane par la Compagnie de Jésus, vient de célébrer le cinquantième anniversaire de son existence. Le volume dont nous venons de transcrire le titre est extrait de l'*Album Conmemorativo* publié à cette occasion. Il trace à grands traits l'histoire de l'Observatoire du Collège ; il rappelle les travaux météorologiques de toute première valeur auxquels ont servi de base les observations météorologiques et magnétiques qui y furent faites et qui ont rendu de si éminents services à la navigation et au commerce dans la région des Antilles, si exposée aux assauts furieux de la tempête. Il insiste surtout sur la part considérable qui en revient au R. P. Benito Viñes, d'illustre mémoire, qui dirigea l'Observatoire pendant vingt-trois ans.

A. Da Cunha. — L'Année technique (1903-1904). Préface de Henri Moissan. Un vol. grand in-8° de 303 pages, avec 142 figures. — Paris, Gauthier-Villars, 1904.

Exposé nettement écrit, à l'usage du grand public, des principales applications récentes des sciences physiques et naturelles et de celles qui ont récemment excité la curiosité et captivé l'attention, y compris... le " looping the loop ".

G. Hart. — Les Turbines a vapeur. Extrait des Mémoires de la Société des ingénieurs civils de France, juin 1904. Un vol. in-8° de 139 pages, avec 53 figures et une planche hors texte. — Paris, Gauthier-Villars, 1904.

Étude générale, surtout descriptive, abondamment documentée et formant une initiation excellente à un sujet dont l'importance grandit chaque jour et dont la bibliographie française est relativement pauvre.

Alfred Musil. — Bau der Dampfturbinen. Un vol. in-8° de 233 pages, avec 102 figures dans le texte. — Leipzig, B. G. Teubner, 1904.

Exposé théorique et pratique formant un traité didactique complet sur la matière.

A. Verneuil. — Mémoire sur la reproduction artificielle du Rubis par fusion. Extrait des Annales de Chimie et de Phy-

SIQUE, 8e série, t. II, septembre 1904. Un vol. in-8° de 30 pages, avec 6 figures. — Paris, Gauthier-Villars, 1904.

A côté de l'intérêt scientifique que présente la cristallisation du corindon par fusion, que ces recherches mettent en évidence, l'intérêt industriel que ce mémoire comporte au point de vue de la joaillerie réside dans la possibilité de mettre maintenant à la portée du plus grand nombre une pierre aussi belle et aussi durable que le rubis naturel.

Dom Grégoire Fournier. — LE TROU FÉLIX A FALMIGNOUL. Brochure in-8° de 40 pages, avec 3 figures et 5 planches hors texte. Extrait du COMPTE RENDU DU CONGRÈS D'ARCHÉOLOGIE ET D'HISTOIRE, Dinant, 1903. — Namur, Wesmael-Charlier, 1904.

Le trou Félix est une caverne située dans la paroi sud du ravin du " Colebi " dont le thalweg fait la limite entre les communes d'Anseremme et de Falmignoul. L'auteur décrit les fouilles exécutées par lui et ses élèves dans cette intéressante caverne, et leurs résultats : découverte d'ossements humains, appartenant à onze individus au moins, dont plusieurs enfants ; d'ossements d'animaux, de silex, de poteries, etc. En annexe à son travail, l'auteur reproduit (22-40) la partie d'un mémoire du Dr E. Houzé, sur les néolithiques de la province de Namur, présenté au même Congrès, où sont étudiés en détail les ossements humains découverts par Dom Grégoire Fournier et ceux qu'avait recueillis, en 1893, dix mètres au-dessus du trou Félix, M. Colfs.

" Dans l'état actuel de nos connaissances, dit Dom Grégoire Fournier, le trou Félix apparaît comme un ossuaire de la première partie de l'âge néolithique. "

Dr Ch. Colombo. — MANUEL DU LATIN COMMERCIAL. Deuxième édition. Un volume in-12 de 192 pages. — Paris, P. Lethielleux, sans date.

Encore une langue universelle ! Le *latin commercial* n'est pas le *latin de cuisine :* il a une grammaire, et prétend la respecter. C'est moins encore le *latin classique :* il admet les barbarismes et les solécismes pour les simplifications qu'ils apportent. C'est le latin de ceux qui " ont fait leurs classes ", n'ont pas oublié tout ce qu'ils y ont appris et emploient ce qui leur en reste le moins mal possible. Le *Manuel* comprend la grammaire (13-66), des exemples (66-77), un vocabulaire français-latin, et un *vocabularium latino-francicum* (77-179).

NÉCROLOGIE

Paul Tannery et Adrien Arcelin

La *Société scientifique* a perdu récemment deux de ses membres français.

M. Paul Tannery, ingénieur des manufactures de l'État, est décédé le 27 novembre dernier, à la suite d'une courte maladie. Il était membre honoraire de notre Société depuis 1898.

La philosophie et l'histoire des sciences mathématiques, et tout spécialement de la science hellène, perdent en lui un de leurs représentants les plus laborieux, les plus érudits et les plus sagaces. L'œuvre qu'il nous laisse est considérable. Une minime partie de ses travaux a été recueillie et réunie en ouvrages séparés ; le reste est disséminé dans un grand nombre de recueils périodiques. Paul Tannery avait été chargé de la partie des mathématiques dans l'édition des œuvres de Descartes en cours de publication. Il a occupé pendant quelques mois, à titre de remplaçant, la chaire de philosophie grecque et latine au Collège de France, dont l'assemblée des professeurs, on s'en souvient, le proposa récemment pour la chaire d'histoire générale des sciences. Son mérite éminent justifiait ces suffrages ; il imposait leur ratification. On cherche en vain la raison scientifique qui en fit juger autrement.

La Revue publiera prochainement une notice sur les travaux de Paul Tannery.

M. Adrien Arcelin, secrétaire perpétuel de l'Académie de Mâcon, fut pour la *Société scientifique* un ami de la première heure, qui ne cessa de lui prodiguer les témoignages de son estime et le précieux secours de sa collaboration. Celle-ci fut très active, surtout dans la Revue. Outre un grand nombre d'articles étendus, relatifs à l'anthropologie, à l'antiquité préhistorique, etc., M. Arcelin avait bien voulu se charger de la bibliographie et de la revue des recueils d'anthropologie : il s'est acquitté de ce soin pendant plus de vingt-cinq ans, avec un dévouement et une autorité qui nous feront regretter longtemps son aimable et excellent concours.

La *Société scientifique* dépose sur la tombe de son savant et zélé collègue l'hommage de son pieux souvenir et de sa profonde gratitude. La Revue consacrera dans sa prochaine livraison une notice à son dévoué collaborateur.

J. Thirion, S. J.

ADRIEN ARCELIN

La Société scientifique internationale de Bruxelles est, depuis quelques années, douloureusement éprouvée. A ne remonter qu'à son année jubilaire, la mort impitoyable a fauché dix de ses membres et des plus éminents. Ce fut, en 1901, l'illustre mathématicien Hermite; en 1902, le savant docteur et professeur Ferdinand Lefebvre, que ne tardait pas à suivre un autre fidèle et dévoué membre de la Société, le docteur Achille Dumont.

En 1903, Charles de la Vallée Poussin, l'éminent géologue, collègue du docteur Lefebvre à l'Université de Louvain, voyait finir aussi sa carrière ici-bas. Le chimiste Paul Hautefeuille et, presque encore dans la force de l'âge, le sympathique R. P. G. Hahn, S. J., le physiologiste, prenaient, au commencement de l'année 1904, la suite de cette théorie funèbre ; et l'année ne s'achevait pas sans nous faire de nouvelles victimes : l'inspecteur général du Génie maritime Louis de Bussy, membre de l'Institut ; le marquis de Nadaillac, membre correspondant de l'Académie des Inscriptions et Belles-lettres, ancien préfet sous le gouvernement qui suivit les lugubres événements de 1870-1871 et l'un des plus assidus collaborateurs de la Revue des Questions scientifiques en tout ce qui concerne l'anthropologie et les sciences préhistoriques et ethnographiqnes. Peu après lui, mourait en novembre dernier, d'une broncho-pneumonie, Paul Tannery, ingénieur des manufactures de l'État, helléniste, astronome et philosophe, également versé dans les lettres grecques et

latines et dans les sciences exactes, et dont la riche intelligence promettait de nombreux travaux encore (1).

La mort du regretté marquis de Nadaillac marquait, à 86 ans, la fin d'une verte et vigoureuse vieillesse. Nous avons à déplorer aujourd'hui la perte d'un confrère non moins dévoué, non moins assidu collaborateur de la REVUE, enlevé subitement à l'âge de 66 ans, sans que rien n'eût pu faire prévoir cette fin soudaine et prématurée. M. Adrien Arcelin est bien connu des lecteurs de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES pour ses articles d'archéologie préhistorique, d'économie sociale, de psychologie, toujours écrits dans un style limpide dont la clarté n'excluait pas l'élégance.

La mort l'a frappé le 21 décembre 1904, en un douloureux concours de circonstances. Jouissant d'une santé brillante, jamais malade, toujours dispos, il était resté seul avec une de ses filles dans sa maison de Saint Sorlin (Saône-et-Loire), tandis que Madame Arcelin et ses autres enfants étaient occupés à Lyon. Il achevait un travail héraldique sur le Châlonnais, le soir assez tard, et avait écrit selon son habitude, avant de se coucher, l'emploi de sa journée ; il y ajoutait cette note : « enrhumé, douleur derrière le sternum revenant par accès très pénibles ». Le lendemain, quand à 6 heures du matin son domestique vint l'éveiller pour une course qu'il devait faire, il répondit qu'il ne partirait pas et demanda son médecin. Celui-ci, à l'auscultation, ne constata rien de grave, un peu de névralgie intercostale simplement. Quelques instants plus tard, le courrier de M. Arcelin lui ayant été apporté, il était occupé à l'ouvrir, tout en causant familièrement et comme d'habitude avec celle de ses filles restée auprès de

(1) Cette notice n'était pas terminée qu'une lettre de faire part m'apprenait la mort de M. d'Acy, membre de la Société scientifique depuis 1881, anthropologiste et préhistoricien de haute valeur. Il avait pris peu de part aux travaux de la Société ; mais il en suivait avec intérêt la publication tant dans sa REVUE que dans ses ANNALES. Il s'est éteint à Paris, le 1er janvier dernier, à l'âge de 77 ans, après plusieurs années d'une pénible maladie de langueur.

lui, lorsque, au bout de vingt minutes environ, sa tête retomba lourdement sur l'oreiller sans qu'il prononçât une parole : tout était fini !

Adrien Arcelin était un de ces chrétiens vaillants et énergiques que la mort peut atteindre sans avertir, parce qu'ils sont toujours prêts. Il était né à Fuissé, en Saône-et-Loire, le 30 novembre 1838, passa par l'École des Chartes après de brillantes études au lycée de Mâcon, et fut chargé de la direction des archives du département de la Haute-Marne, mais quitta ce poste après peu d'années pour une double mission : mission archéologique en Orient pour le ministère de l'Instruction publique, collaboration à la carte géologique de France pour le ministère des Travaux publics. La première valut de sa part, au ministère qui la lui avait confiée, d'importants mémoires, principalement *Sur l'Industrie primitive en Égypte et en Syrie*, que publièrent les MATÉRIAUX POUR L'HISTOIRE PRIMITIVE DE L'HOMME. La seconde lui donna l'occasion de lever la carte géologique des cantons de Mâcon nord et sud et de publier, à l'appui, une *Explication* de ce travail.

Adrien Arcelin était, du reste, d'une compétence quasi universelle. L'archéologie préhistorique, l'archéologie proprement dite, la paléographie, la philosophie, la sociologie, l'histoire, la géologie, la minéralogie, la botanique, rien de ces ordres de connaissances ne lui était étranger ; mais l'archéologie préhistorique avec l'anthropologie furent la principale passion intellectuelle de sa vie.

Secrétaire perpétuel et deux fois président de l'Académie de Mâcon, dont il fut membre titulaire pendant 36 ans, il enrichit cette compagnie de nombreux mémoires originaux et notamment d'un atlas in-4° de quarante-deux planches dessinées de sa propre main.

C'est à partir de 1868 qu'il commence la série de ses travaux préhistoriques par une exploration de la vallée de la Saône. Dès la première année de l'existence de cette REVUE, il lui apporta sa précieuse collaboration et débuta,

en avril 1877, par une étude sur la *Classification préhistorique des âges de la pierre, du bronze et du fer*. Depuis lors et jusqu'en 1901 inclusivement, il ne cessa de collaborer à ce recueil. Le nombre de ses articles tant sur la sociologie, l'anthropologie, le quaternaire préhistorique, la géologie proprement dite et la philosophie, que comme revues des recueils, dépasse la centaine.

Les Annales de l'Académie de Mâcon recevaient en même temps de lui une collaboration non moins active en anthropologie, préhistoire, géologie, économie sociale et mémoires historiques.

Esprit ouvert, intelligence investigatrice éclairée par un sens critique assuré, Adrien Arcelin n'était pas seulement un savant dans la plus large et la plus compréhensive acception du terme, c'était encore, et mieux encore, un homme d'honneur et un chrétien. Modeste et humble autant que savant, ayant appris que des démarches étaient tentées à son insu pour lui obtenir quelque distinction honorifique assurément bien inférieure à son mérite, il avait, d'une fermeté inébranlable, exigé qu'il n'y fût donné aucune suite.

On se rendra compte de l'élévation de pensée d'Adrien Arcelin par quelques lignes tirées de son *Explication de la carte géologique des deux cantons de Mâcon*. A propos des parcelles de vérité laborieusement arrachées au livre de la nature et qui ne sont que quelques-unes des grandes lignes du plan divin, il écrivait : « Ce côté profondément philosophique et religieux de nos belles études n'est pas un des moindres attraits qu'elles présentent aux esprits avides de savoir et de connaître. Le plus petit rayon de l'éternelle Vérité clairement entrevu, est certainement une des plus grandes jouissances morales qui soient données à l'homme en récompense de ses efforts. »

A quelle hauteur de vues n'élève pas, chez un esprit sincère et convaincu, la science ainsi comprise, ainsi envisagée !

Nous ne saurions résister à la mélancolique jouissance de citer ces paroles du fils de notre regretté confrère, décrivant le cabinet de travail de son père :

« Ses livres et ses notes sont encore tels qu'il les avait laissés. Ses innombrables fiches d'histoire, d'archéologie, d'anthropologie, de géologie, de philosophie, sont fixées dans leur immobilité. La belle intelligence qui les manœuvrait avec tant d'habileté n'est plus. Mais quelle jouissance pour elle si le bon Dieu lui a permis, dans un monde meilleur, de pénétrer davantage dans la compréhension du plan merveilleux qui domine notre monde ! Mon père parlait quelquefois de la mort avec une douce sérénité. Pour lui c'était l'heure à laquelle il pourrait enfin soulever le voile qui limite les investigations de la pensée. »

Il le soulève sans doute maintenant, ce voile de la Beauté suprême dont les laborieux efforts des générations arrivent à peine à soulever un coin. Heureux qui sait voir, comme il l'a su sur cette terre, dans les magnificences de la nature, la splendeur de la Toute-Puissance divine !

C. de Kirwan.

LES

PROGRÈS DE L'ARTILLERIE

DEPUIS L'INVENTION DES CANONS RAYÉS (1)

En 1742, plus de cent ans avant l'emploi de l'artillerie rayée, le mathématicien anglais Robbins écrivait que la nation qui comprendrait, la première, l'importance des canons rayés et saurait s'en pourvoir aurait sur les autres autant d'avantages qu'en avaient eus sur leurs propres adversaires les inventeurs des armes à feu (2).

Que les amateurs de prédictions se plaisent à rapprocher cette opinion des succès tactiques des Français en 1859 et des Allemands en 1870, je ne leur chercherai pas chicane, car, depuis qu'elle se sert de canons rayés, l'artillerie a fait plus de progrès qu'elle n'en avait réalisé jusqu'alors durant cinq siècles.

C'est l'évolution scientifique de l'artillerie rayée que je vais tâcher d'esquisser en quelques pages. Je ne serai point complet. Rien d'étonnant, puisque les progrès de

(1) Conférence donnée à l'Assemblée générale de la Société scientifique de Bruxelles, le 26 janvier 1905.

(2) « Je terminerai ce mémoire en prédisant que le gouvernement, quel qu'il soit, qui comprendra parfaitement la nature et l'avantage des pièces carabinées, qui en facilitera et en complétera la construction, et qui en introduira l'usage dans les armées, en même temps que la rapidité de leur manœuvre, obtiendra une supériorité comparable seulement aux merveilleux effets produits autrefois par les premières armes à feu » (*New Principles of gunnery*, par Robbins : REVUE BRITANNIQUE, 1838, vol. I, *La Poudre à canon et ses effets sur la Civilisation*).

l'artillerie sont en corrélation avec ceux de toutes les sciences physiques et mathématiques et d'un grand nombre de sciences appliquées : on a demandé à la métallurgie le meilleur métal ; à la chimie, la meilleure poudre ; à la mécanique, les agencements les plus ingénieux, les plus résistants et les plus précis. La bouche à feu est devenue un appareil tout à la fois puissant et délicat dans lequel on introduit et on transforme, suivant des lois jadis insoupçonnées, une formidable énergie ; elle ne se fabrique plus, comme au temps des maîtres fondeurs, d'après le goût du moment ou la fantaisie des généraux (1), la grande industrie s'en est emparée et le canon moderne est l'un de ses chefs-d'œuvre.

L'artillerie lisse, qui vit le jour dans la première moitié du XIVe siècle (2), fut caractérisée pendant quatre cents ans par son défaut de mobilité, la multiplicité des calibres et l'absence d'organisation. Les armées traînaient à leur suite un matériel encombrant et hétérogène, utilisé, par parties, tantôt pour combattre en rase campagne, tantôt pour se défendre sur une position fortifiée, tantôt pour assiéger les villes.

Gustave-Adolphe fut le premier à faire usage de canons capables de suivre les troupes dans leurs déploiements (3) et dont les victoires du roi de Suède amenèrent l'adoption dans toute l'Europe ; mais la prépondérance donnée au

(1) « Chaque prince, chaque général, chaque fondeur a voulu inventer suivant son caprice de nouveaux calibres et de nouvelles dimensions, sans que plusieurs d'entre eux aient pu faire des épreuves raisonnables de leur utilité, tant parce que cela était d'une grande dépense, que parce qu'on n'en peut guère juger que dans une guerre véritable et vigoureuse » (*Mémoires de Montecuculli*, Livre Ier, Chap. II).

(2) Ce fut à la bataille de Crécy, en 1346, que l'artillerie fit son apparition sur le champ de bataille ; auparavant elle avait déjà été utilisée dans la guerre de siège.

(3) Les Suédois firent d'abord usage de canons, dits *canons en cuir*, formés d'un cylindre de bronze peu épais renforcé par des cercles en fer et entortillé de cordages. Le tout était recouvert d'une peau corroyée. Ces bouches à feu, qui s'échauffaient facilement, furent remplacées après les campagnes de 1628 à 1631 par des pièces en bronze.

XVIIe siècle à la guerre de siège arrêta dans son essor le développement de l'artillerie de campagne. D'ailleurs, si les pièces à la suédoise avaient le mérite de la mobilité, elles faisaient plus de bruit qu'elles ne causaient de mal. On ne doit point s'en étonner : sans parler de la technique, le métal et la poudre laissaient beaucoup à désirer. La poudre, que l'on n'avait pas encore appris à protéger à suffisance contre les agents de détérioration, était un produit inconstant. Le bronze, qui, peu à peu, avait été substitué au fer, était loin de posséder la dureté, la résistance et l'homogénéité de nos aciers. La métallurgie était dans l'enfance et, pour me permettre une expression vulgaire, « on n'y regardait pas de si près ». Aux jours de détresse publique, on fondait les cloches pour en faire des canons (1) et le même métal qui avait sonné l'angélus ou retenti dans les festivités populaires, vomissait la mitraille et répandait la mort dans les combats.

A des procédés empiriques de fabrication s'ajoutaient des théories plus empiriques encore. La *Balistique extérieure*, ou science des mouvements des projectiles dans l'air, n'était qu'un objet de curiosité pour les physiciens, les géomètres et les mathématiciens (2). La *Balistique intérieure*, qui s'occupe de la combustion des poudres, de la pression des gaz et des mouvements des projectiles dans l'âme des bouches à feu, n'existait pas. L'on s'imaginait qu'il n'y avait aucune limite théorique à l'allongement d'un canon et que, plus il était long, plus il devait porter loin. Sous ce rapport, on demeurait aveugle

(1) Cette pratique fut adoptée par la Convention. « La refonte des vieilles pièces hors modèles constituant des ressources insuffisantes, la Convention, par différents décrets rendus en 1795, affecta aux fonderies le bronze des cloches jusque-là réservé pour la fabrication de la monnaie » (*L'Artillerie au début des guerres de la Révolution*, par G. Rouquerol. Paris, Berger-Levrault, 1898, p. 154).

(2) Ce ne fut qu'en 1638 que Galilée énonça le principe de l'égalité de l'action de la pesanteur sur un corps en mouvement ou au repos, et en 1723 que Newton tint compte, le premier, de la résistance de l'air dans les problèmes de balistique extérieure.

à l'évidence, car parfois, par l'effet du tir un morceau de la pièce étant emporté, on continuait le feu avec la partie restante et l'on constatait que les projectiles étaient lancés plus loin.

Ce n'est qu'à partir de l'ordonnance française de 1732, due au général de Vallière, l'auteur du premier système rationnel d'artillerie, que nous voyons la lumière pénétrer les esprits et la méthode présider à la fabrication et à l'emploi des bouches à feu. Quelque cinquante ans plus tard, à la veille des guerres de la Révolution, Gribeauval élevait l'artillerie lisse presqu'à sa perfection.

Après avoir, jusqu'à la réforme de Vallière, végété pendant quatre siècles, l'artillerie lisse parvint en cent ans à son complet développement, à telle enseigne qu'au moment de l'apparition de l'artillerie rayée elle était incapable de tout nouveau progrès. Sans doute elle était remarquable par sa facilité de construction et d'emploi et par sa solidité, mais il lui manquait la puissance, la justesse et la portée.

On ne pouvait escompter, comme aujourd'hui, la précision de quelques coups isolés. L'effet réellement utile des pièces de gros calibre cessait à 2000 mètres ; au delà leur tir ne servait que de moyen d'intimidation (1). En campagne, la canonnade qui préludait à l'action ne pouvait prétendre à l'écrasement de l'ennemi ; elle protégeait le déploiement et donnait du temps. La pleine efficacité du boulet ne dépassait pas 800 mètres et pour remédier à un

(1) « Les vaissaux ne craignent plus les boulets des plus forts calibres à 2000 mètres, à cause de l'incertitude de leur tir ; au reste, ces boulets ont perdu à cette distance la moitié de leur vitesse initiale, aussi ils ne feraient que le quart de leur effet ordinaire » (Papiers de Senarmont, Archives de la Section technique : cité par Rouquerol).

« Le tir des mortiers de côte s'étendait jusqu'à 3600 et 4000 mètres, celui des mortiers de galiote jusqu'à 4600 et 4800 mètres ; mais à ces distances le tir rentrait dans la catégorie des tirs d'intimidation, destinés, par exemple, à empêcher les navires de profiter d'un mouillage éloigné » (*L'Artillerie au début des guerres de la Révolution*, par G. Rouquerol. Paris, Berger-Levrault, 1898, p. 66).

tir imprécis et couvrir de grands espaces, on faisait ricocher les projectiles devant le front de l'adversaire. A l'instant décisif, à trois ou quatre cents mètres, on tirait à mitraille. L'invention du fusil à longue portée compromit le succès de cette tactique et fut l'origine des laborieux efforts d'où sortit l'artillerie rayée.

Le manque de justesse de l'artillerie lisse s'explique aisément. Le chargement par la bouche exigeait qu'on laissât un certain jeu entre le boulet et la paroi intérieure du canon. Le projectile ballotté dans l'âme prenait un mouvement de rotation dans le sens du dernier battement, tantôt à droite, tantôt à gauche, tantôt en haut, tantôt en bas et, malgré une vitesse initiale relativement considérable, ne portait, en proportion, qu'à des distances restreintes et constamment différentes. Le moyen d'être maître du mouvement de rotation était de rayer les canons, ainsi qu'on le faisait pour les fusils et les carabines ; on l'avait bien tenté à diverses reprises, mais toujours l'on s'était heurté à mille difficultés techniques.

Ce fut un Italien, Cavalli, qui, poursuivant la réalisation d'un canon se chargeant par la culasse, aboutit, le premier, à une solution pratique, qui comprenait le remplacement du boulet par un projectile allongé possédant plus de masse à égalité de section droite et stable sur sa trajectoire. La conception de Cavalli ouvrait la voie à un triple progrès : la rayure engendrait la justesse de tir ; l'augmentation du poids du projectile en accroissait la puissance ; sa stabilité permettait l'emploi rationnel des *fusées*, appareils destinés à en provoquer l'éclatement à distance, d'où le transport de la mitraille jusqu'aux limites extrêmes du tir.

L'idée du chargement par la culasse remontait au XVe siècle ; elle avait même été appliquée aux XVIe et XVIIe siècles, mais sans succès à cause des défectuosités du métal et de l'insuffisance des arts mécaniques. Les pièces se déculassaient et devenaient ainsi plus redoutables à

leurs servants qu'à l'ennemi lui-même. Bien que Cavalli fût partisan convaincu du chargement par la culasse, le premier canon qu'il construisit se chargeait par la bouche. Il faut croire qu'il fut arrêté par des difficultés d'ordre pratique et aussi par le désir de produire un système qui pour la facilité de construction et d'emploi pût soutenir la comparaison avec l'artillerie lisse. Les errements de Cavalli furent suivis en France où la marine adopta, en 1855, des canons rayés se chargeant par la bouche ; l'artillerie de campagne fit de même. En 1859, les Français utilisèrent, les premiers, les bouches à feu rayées sur le champ de bataille ; elles se montrèrent de beaucoup supérieures aux canons lisses des Autrichiens.

Cependant on n'avait pas atteint la perfection. L'*évent*, c'est-à-dire le jeu entre le projectile et l'âme, n'était pas complètement supprimé, des battements irréguliers continuaient à se produire et occasionnaient des irrégularités de tir. Le chargement par la culasse était le seul remède ; il comportait, outre un appareil de fermeture capable d'une obturation complète, l'augmentation du nombre des rayures, la diminution de leur profondeur et l'enveloppement du projectile par une chemise de plomb d'un diamètre égal à celui du fond des rayures.

Personne ne contestait le caractère transitoire de la première artillerie rayée et la nécessité de lui donner une forme plus parfaite. L'Angleterre, la première, adopta pour tous les calibres un système d'artillerie à fermeture par la culasse. Malheureusement, les expériences qui avaient déterminé cette adoption avaient été insuffisantes et, en 1863, plus de 2500 pièces furent mises hors de service. L'Angleterre en revint au chargement par la bouche et ne l'abandonna définitivement qu'en 1884.

En 1866, une partie seulement de l'artillerie prussienne était armée de canons se chargeant par la culasse et leur action n'eut pas une prépondérance telle que la généralisation de leur emploi s'imposât immédiatement en Europe ;

il fallut pour cela la guerre de 1870, dans laquelle les batteries allemandes firent preuve d'une supériorité considérable sur les batteries françaises. Le chargement par la culasse augmentait la portée du quart, la force vive du tiers et doublait la justesse.

Pour l'artillerie lisse, le rapport du poids de la charge à celui du projectile était égal à un tiers ; on ne put ni l'élever, ni le maintenir, on fut même obligé de l'abaisser. D'une part, la suppression de l'*évent*, à égalité de charge, entraînait un notable surcroît de la pression des gaz à l'intérieur du canon ; d'autre part, la substitution de la forme oblongue à la forme sphérique avait rendu, pour un même calibre, le projectile de 1 1/2 à 3 fois plus lourd. Si le rapport du tiers avait été maintenu, ni la pièce, ni l'affût n'auraient été capables de résister au tir ; il fut donc considérablement diminué, ce qui eut pour conséquence, dans certains cas, une réduction de la vitesse initiale, de 500, à 300 mètres. C'est un véritable paradoxe scientifique : malgré — toutes proportions gardées — la diminution de l'énergie enfermée dans la poudre, grâce à des perfectionnements de mécanisme, l'artillerie rayée acquérait à ses débuts une prépondérance incontestable sur sa devancière. Nous allons voir quels progrès extraordinaires elle a réalisés par l'amélioration du métal, des procédés de fabrication et de la poudre.

Les bouches à feu lisses étaient en fonte et en bronze, métaux dont l'artillerie rayée ne put faire usage pour les gros calibres. Comme la rayure, à égalité de calibre, augmentait considérablement l'efficacité du tir, on se serait peut-être accommodé des nouvelles conditions d'utilisation de la fonte et du bronze, si l'extension et le renforcement des cuirassements dans la marine et leur introduction dans les fortifications terrestres n'avaient exigé la recherche d'un accroissement de la puissance des bouches à feu. Donner plus d'épaisseur au métal était

illusoire, car une pression intérieure a sur un tube métallique une influence graduellement décroissante de la partie interne à la périphérie et la résistance totale du tube est fort loin de grandir proportionnellement à son épaisseur. Heureusement, l'acier fondu, dont les débuts avaient été pénibles et avaient avancé la mort des inventeurs (1), s'offrait à point pour tirer les artilleurs d'embarras. Un homme, d'ailleurs, Alfred Krupp, avait déjà compris que l'acier était le véritable métal à canon et s'en était servi comme tel : en 1847, on achève à Essen le premier canon en acier fondu, c'était un canon de 3 livres ; en 1851, Krupp envoie à l'Exposition internationale de Londres un canon de 6 livres ; en 1854, il fabrique un canon de 12 livres. Bien avant 1870, l'emploi de l'acier pour la fabrication des bouches à feu devient une règle à Essen ; après 1870, la supériorité de l'artillerie en acier s'affirme partout et c'est à Alfred Krupp que revient l'honneur d'en avoir été, avec une sorte de divination, le promoteur obstiné.

L'acier Krupp était un acier au creuset, obtenu par une série d'opérations longues et délicates et exigeant un outillage coûteux ; dès 1861 on avait installé à Essen un marteau-pilon de cinquante tonnes du prix de 2 1/4 millions de francs (2). En France, on rechercha des procédés

(1) « La maisonnette qui se trouve maintenant au centre de la fabrique, nous sommes venus l'habiter en l'année 1822-1823 après que mon père eut sacrifié sans succès, à l'invention de l'acier fondu, non seulement une fortune considérable, mais sa vie et sa santé ; cette modeste habitation était alors le seul logement de toute notre famille, j'y ai vécu avec les miens, plusieurs années de misères et de soucis ; mon père l'a quittée pour la tombe le 28 octobre 1826, moi-même j'y ai passé, en une mansarde, des centaines de nuits, dans l'insomnie, dans la peine et dans la fièvre de l'angoisse, sans grand espoir d'avenir ; c'est là où, maigrement réalisées ensuite, les premières espérances sont nées, et où enfin j'ai vu l'accomplissement de mes plus audacieux souhaits » (Lettre d'Alfred Krupp à son personnel : *L'Usine Krupp*, par Friedrich C. G. Müller, traduit de l'allemand par Georges Bridel. Lausanne, 1898, p. 17).

(2) Le plus grand marteau-pilon du monde pèse 125 tonnes ; il a été construit par la Compagnie des Aciéries de Bethlehem (États-Unis d'Amérique).

plus économiques et pour éviter le pilonnage, dont le but était non seulement de façonner le métal, mais encore d'en extraire les bulles d'oxygène qui s'y trouvaient incorporées, on recourut à une désoxydation chimique du bain métallique au moyen du manganèse. En Angleterre, on usa d'une autre méthode de désoxydation, la méthode Whitworth qui consiste à soumettre le métal semi-liquide à une pression de près de 1000 kilogrammes par centimètre carré, réduite à 100 kilogrammes lorsque la masse s'est contractée du 1/8 de son épaisseur. En 1886, Armstrong usinait des masses de cent tonnes. A cette époque l'usage de l'acier s'était généralisé en Allemagne, en France et en Angleterre, et il faut admirer comment, par des voies différentes, la métallurgie est parvenue à produire ce métal résistant, élastique et homogène dont l'emploi devait renouveler l'art de l'ingénieur et permettre ces constructions audacieuses, halls immenses, maisons à vingt étages, ponts géants jetés au-dessus des estuaires et des vallées profondes et qui nous ont semblé longtemps défier les lois de l'équilibre et de la stabilité.

Il parut un instant que le bronze rivaliserait avec l'acier comme métal à canon. Le général Uchatius par un procédé spécial de fusion réussit à en augmenter notablement la dureté extérieure. De plus, comme sous l'influence des premiers coups les bouches à feu en bronze s'élargissaient, il obvia par un mandrinage préventif à tout élargissement ultérieur. Le bronze Uchatius fut accueilli avec faveur en Italie et en Autriche où les aciéries n'existaient point, mais des exigences balistiques nouvelles ne tardèrent pas à établir sans conteste la suprématie de l'acier.

La substitution de l'acier à la fonte et au bronze ne permit pas, au début, de monter beaucoup dans l'échelle des calibres ; pour les canons, on n'y gagna que deux centimètres. C'était insuffisant, car pour lutter contre les cuirassements l'artillerie de marine et l'artillerie de côte réclamaient des pièces de plus en plus puissantes. On y

pourvut par le frettage qui consiste à envelopper à chaud les bouches à feu de spires soit d'un soit de plusieurs manchons métalliques superposés. L'Angleterre avait déjà appliqué un frettage formé de barres de fer à ses premiers canons rayés, depuis le plus faible calibre jusqu'à celui de 18 centimètres. En France, dès 1859, certains canons de marine en fonte sont renforcés par des frettes d'acier dont l'usine de Saint-Chamond conserve le monopole en Europe jusqu'en 1864. En 1859, cette usine fabrique le premier canon fretté connu entièrement en acier ; ce ne fut qu'en 1867 qu'on commença en Allemagne la construction de canons frettés de gros calibre. Le frettage à cause de ses avantages ne tarda pas à s'étendre à tous les calibres ; aujourd'hui il est général.

Quel est l'effet du frettage ? Je prends pour exemple un canon de petit calibre composé d'un tube intérieur et d'une jaquette, forme la plus simple de frettage. A une température relativement élevée, la jaquette est glissée sur le tube et en se refroidissant le comprime à peu près jusqu'à sa limite d'élasticité ; de son côté le tube, agissant par réaction sur la jaquette, la fait travailler à la tension jusqu'au tiers de son coefficient total. Il se trouve de cette façon que les canons frettés supportent une plus grande pression intérieure que les canons ordinaires ; cette pression peut s'élever à 2500 kilogrammes par centimètre carré.

L'opération du frettage paraît simple ; il n'en est rien. Il suffit d'augmenter de 1/400 le diamètre d'un anneau d'acier de 200 millimètres de diamètre, pour atteindre la limite d'élasticité. Les surfaces de contact doivent être dressées avec la plus minutieuse exactitude. Les copeaux métalliques enlevés au tour ne se recroquevillent pas, mais forment des feuilles homogènes et élastiques, se pliant et se repliant sans se rompre et n'ayant que l'épaisseur d'un trentième de millimètre, le tiers de l'épaisseur d'un cheveu !

Quand, après 1886, on voulut charger les projectiles d'explosifs violents, on fut arrêté par cette considération que leur éclatement prématuré dans l'âme mettrait la bouche à feu hors de service. C'est alors qu'afin d'éviter tout choc du projectile contre les parois internes du canon, l'Américain Zabinski imagina l'artillerie pneumatique dans laquelle l'air, comprimé graduellement jusqu'à 42 atmosphères, remplaçait la poudre. Ce système dut être abandonné, car il exigeait des pièces de cent calibres de longueur et le projectile n'était pas animé d'une vitesse initiale suffisante. Gruson, cherchant dans une autre voie, enferma dans le projectile deux récipients en verre séparés et contenant les éléments d'un mélange détonant. Les récipients se brisaient lors du tir et le mélange se formait à l'extérieur du canon. Le procédé était ingénieux, mais peu pratique. Il fallut choisir les explosifs les moins sensibles au choc et pourvoir à un nouvel accroissement de la résistance des bouches à feu. L'acier au nickel, qui supporte deux fois plus d'efforts à la traction que l'acier ordinaire, lui fut substitué. Un obus chargé d'acide picrique qui éclate dans un canon d'acier au nickel n'occasionne pas de déchirure à l'endroit de l'éclatement, mais une simple dépression. La Société Cockerill fut une des premières à étudier l'acier au nickel pour la fabrication du matériel de guerre (1).

(1) « Dans le tube en acier-nickel on fit explosionner 430 grammes de tonite qui développèrent, d'après les formules de Mallard et Lechatellier, une pression de 7668 kgr. par centimètre carré, confirmée par le *crusher*.

» Des expériences successives faites dans les mêmes conditions donnèrent, respectivement, 7 mm., 8 mm. et 8,2 mm. d'augmentation locale du diamètre sans indice de déchirure.

» D'après les formules de Brix et Lamé, la tension maximum développée sur les fibres les plus fatiguées aurait été de 130 à 140 kgr. par millimètre carré.

» Deux tubes en acier, sans addition de nickel, soumis aux mêmes épreuves, furent réduits en plusieurs fragments » (*Le Matériel de guerre de la Société John Cockerill de Seraing à l'Exposition internationale de Bruxelles de 1897*, pp. 43 et 44 : extrait de la REVUE DE L'ARMÉE BELGE. Liége, Ch. Lemaire, 1898).

En Angleterre, Armstrong, adoptant des idées défendues depuis 1860 par l'Anglais Longridge, ajouta à la modification du métal une modification dans le mode de fabrication des bouches à feu. Longridge avait dénoncé l'impossibilité d'obtenir par le frettage un état déterminé de compression du tube intérieur et, en tout cas, un travail identique du métal dans toutes les parties du tube et de son enveloppe. A son sens, l'emploi de poudres lentes, l'allongement de plus en plus considérable des bouches à feu n'étaient que des expédients. Il fallait fabriquer des canons capables de résister aux plus hautes pressions, qu'elles fussent produites, accidentellement, par l'éclatement d'un projectile dans l'âme, ou, normalement, par la combustion de charges rendues plus énergiques. Il proposait d'entourer le tube intérieur d'enroulements multiples de fils d'acier. Théoriquement, personne ne lui donnait tort, mais on contestait la possibilité d'une application pratique. Aussi, pendant longtemps, malgré des expériences faites vers 1880 en Angleterre, en France et aux États-Unis d'Amérique, la campagne opiniâtre menée par Longridge resta stérile. Quelques années plus tard, l'emploi des explosifs violents dans le chargement des projectiles vainquit les hésitations et depuis 1894 toute l'artillerie d'Armstrong est à fils d'acier. La longueur de l'enveloppement filiforme est faite pour dépasser la conception du vulgaire ; autour du canon de 305 millimètres, elle est de 166 kilomètres. Les bouches à feu à fils d'acier supportent des pressions intérieures de 4700 kilogrammes par centimètre carré ; les canons frettés en acier ordinaire n'en supportent guère plus de la moitié.

La poudre noire, d'abord à l'état de poussière, ensuite sous forme fragmentaire ou grenue, fut seule pendant des siècles en usage dans les armées. Lorsque l'artillerie rayée fut mise en service, on s'aperçut que les gaz exerçaient leur pression maximum sur le culot du projectile trop

longtemps avant que celui-ci quittât la pièce et que leur pression moyenne, dont dépendait la vitesse initiale, en était fort différente. La poudre était trop vive, elle se consumait trop rapidement : on en retarda la combustion en augmentant sa densité et la grosseur de ses grains. La progression ascendante des calibres nécessita une seconde modification : le changement de dosage et la substitution de grains prismatiques aux grains de forme irrégulière. Sur ces entrefaites, afin d'obtenir une plus grande rapidité de tir et une meilleure observation des coups, on commença à utiliser des poudres dites *sans fumée* à base de nitro-cellulose et de nitro-glycérine, et, sans se préoccuper de mettre à profit toutes leurs propriétés balistiques, on se contenta de déterminer, par équivalence, la charge à employer pour obtenir les mêmes effets qu'avec la poudre noire ou la poudre prismatique. Mais bientôt on fut obligé d'élever encore la puissance de l'artillerie ; on augmenta les charges et on allongea les canons pour offrir aux gaz tout l'espace que l'on croyait nécessaire à leur détente. On alla à l'extrême et l'on vit construire en France des canons de 60 calibres de longueur.

Les substances qui entrent dans la composition des poudres sans fumée ont des propriétés remarquables. Un gramme de nitro-cellulose donne un volume de gaz de 10 000 centimètres cubes, un gramme de nitro-glycérine en donne à peu près autant, un gramme de poudre noire 270 seulement. C'est par l'adjonction de certains hydrocarbures qu'on a enlevé à la nitro-cellulose et à la nitroglycérine leurs propriétés détonantes et qu'on les a rendues susceptibles d'être utilisées dans les bouches à feu. Les poudres sans fumée (1) sont des poudres lentes qui ont la forme de masses grises ou brunes de la consistance de la corne. A l'air libre, elles brûlent lentement ; dans le

(1) Toutes les variétés actuelles de poudres sans fumée dérivent soit de la poudre Vieille, à base de nitro-cellulose, découverte en 1886, soit de la poudre Nobel, à base de nitro-cellulose et de nitro-glycérine, inventée en 1888.

canon leur explosion se produit en moins de 1/100 de seconde, bien qu'elle soit retardée par la compression et la granulation afin d'éviter des pressions trop considérables qui pourraient atteindre 6000 atmosphères. Les pressions s'élèvent néanmoins à 2500, à 3000 atmosphères, après quoi elles diminuent par suite de la détente des gaz. L'idéal serait d'obtenir des pressions constantes; aussi, l'on s'efforce de faire tendre vers l'unité le rapport de la pression moyenne à la pression maximum. L'aspect extérieur d'un canon, surtout d'un canon de gros calibre, figure assez exactement le diagramme des pressions. Avec la poudre noire la lourde culasse frettée était suivie d'une volée s'amincissant rapidement vers la bouche ; actuellement les renforcements se succèdent sans chute brusque sur toute la longueur de la pièce. La progressivité des poudres sans fumée constitue un énorme progrès au point de vue balistique ; ces poudres engendrent aussi un progrès d'ordre économique par le fait que leur rendement est environ le triple de celui de la poudre noire (1).

Le canon est une machine — le premier en date des moteurs à gaz, si l'on veut — qui communique au projectile une énergie que celui-ci transmet, en partie, à distance. L'énergie communiquée se mesure par le produit de la masse du projectile et du carré de sa vitesse initiale ; elle s'affaiblit graduellement, surtout à cause de la résistance de l'air, suivant des lois qu'aucune formule mathématique ne peut exactement interpréter. La résis-

(1) Rendement relatif de la poudre noire et de la poudre sans fumée :

Belgique	Poudre L^3 de Wetteren	à base de nitro-cellulose	1/2,78
France	Poudre B. C. en lamelles	idem	1/2,67
Allemagne	Poudre en lamelles	idem	1/2,234
Italie	Balistite	à base de nitro-cellulose et de nitro-glycérine	1/3,15
Angleterre	Cordite	idem	1/3,66
Autriche-Hongrie	Poudre en dés de 2^{mm}.	idem	1/3,64

Cours de Balistique intérieure, par Ed. Haesen. Bruxelles, Castaigne, 1904, p. 166.

tance de l'air est proportionnelle au carré de la vitesse du projectile, sauf pour des vitesses comprises entre 240 et 400 mètres ; dans ce cas, la résistance est plus considérable. Elle varie, mais dans un rapport constant, avec la densité de l'air ; elle est inversement proportionnelle à la densité du projectile par unité de section. A égalité d'énergie initiale, il semblerait donc que l'on devrait toujours adopter un projectile lourd ; il n'en est rien. La vitesse initiale du projectile lourd étant moins grande, il doit être tiré sous un plus grand angle et forcément avec moins de précision. En conséquence, le projectile léger aura la préférence lorsqu'une trajectoire tendue sera plus désirable qu'une grande force de pénétration, quand il s'agira de buts vivants, par exemple ; mais il n'y a rien d'absolu, le problème est complexe et sollicite toute l'attention des hommes du métier.

Le projectile n'agit pas seulement par percussion, il est porteur d'une charge explosive qui le fait éclater au but ou à un endroit déterminé de sa trajectoire. Outre la charge explosive, il contient aussi des balles ; c'est le shrapnel, le projectile type de l'artillerie de campagne. Les autres projectiles s'appellent obus ; les plus gros sont les obus de rupture : on en a construit du poids de 1000 kilogrammes. Jadis les obus de rupture ne possédaient pas de charge d'éclatement ; depuis l'emploi des explosifs violents ils en sont généralement pourvus. Cette charge, relativement faible, est placée au culot ; elle fait explosion environ 1/100 de seconde après que le projectile a touché, alors il a déjà pénétré dans les blindages ou les cuirassements et éclate comme un fourneau de mine, allume des incendies, répand de la fumée et des gaz asphyxiants et empoisonnés (1).

L'explosion de la charge intérieure des projectiles est

(1) A l'attaque du 8 février 1904 contre Port-Arthur, plusieurs hommes de l'équipage du *Pallada* furent empoisonnés par une torpille japonaise chargée de lydite.

déterminée par le fonctionnement d'un appareil spécial, que j'ai déjà cité, la fusée. Dès le XVIe siècle on a employé les fusées : c'étaient des tubes remplis d'une composition fusante, enflammée au moment du tir par les gaz de la poudre qui s'échappaient entre le projectile et les parois intérieures du canon. Le moyen était incertain, et la course irrégulière du boulet dans l'air était cause des résultats les plus variables. Pendant trois siècles, c'est-à dire, jusqu'à l'invention de l'artillerie rayée, le perfectionnement des fusées fut des plus lents. Lorsque par l'adoption du chargement par la culasse l'évent fut supprimé, les fusées durent être pourvues de moyens propres d'inflammation. On imagina la fusée à percussion qui produit l'éclatement du projectile au but, mais on ne tarda pas à reconnaître que, dans le tir contre les troupes, l'éclatement doit précéder le choc et que la fusée à temps s'imposait. Un Belge, le lieutenant-colonel Romberg, eut l'idée d'une fusée à double effet, à volonté à temps ou à percussion ; c'était une idée féconde et dont l'application est l'un des facteurs les plus importants de l'unité de projectile que l'artillerie de campagne est bien près de réaliser aujourd'hui.

Les projectiles de campagne portent la fusée en tête : s'il s'agit d'une fusée à temps, au moment du tir un percuteur frappe une amorce, laquelle enflamme une substance fusante qui, au bout d'un certain temps, par suite d'un réglage spécial, communique le feu à la charge ; s'il s'agit d'une fusée percutante, une amorce qui enflamme directement la charge est frappée par un percuteur lorsque le projectile touche. Pour les obus de rupture, dont le choc doit précéder l'éclatement, la fusée se trouve au culot et fonctionne lors du choc.

Les premiers obus employés par l'artillerie rayée éclataient en fragments de grosseurs très différentes ; pour obvier à cet inconvénient, on détermina à l'avance les sections de rupture. Ce fut un progrès marquant.

Après 1870, les perfectionnements apportés aux fusées donnèrent peu à peu la suprématie au shrapnel sur l'obus dans la guerre de campagne. On s'ingénia aussi à améliorer l'organisation intérieure du shrapnel en augmentant le nombre de balles et leur force vive individuelle. En 1877, les effets du shrapnel étaient déjà très satisfaisants ; depuis lors ils sont quintuplés ; la mitraille, rendue beaucoup plus meurtrière qu'autrefois, est lancée à 3000 mètres au lieu de 500.

L'allongement des projectiles en augmentant leur masse leur a donné plus de puissance. Avant 1870, la longueur des projectiles ne dépassait pas deux calibres. Après 1870, le remplacement de la chemise de plomb par une ceinture de cuivre permit une rotation plus rapide, d'où une longueur plus considérable. On fabriqua des projectiles de deux calibres et demi. Actuellement, un grand nombre dépassent trois calibres, quelques-uns atteignent cinq calibres.

Le choix du métal est important dans la fabrication des projectiles ; les obus de rupture, notamment, doivent être faits de matériaux de premier choix, afin de pouvoir percer de part en part les plaques de fer ou d'acier de $0^m,30$ à $0^m,40$ d'épaisseur qui recouvrent les flancs des cuirassés d'escadre. La pointe de certains de ces obus est tellement dure qu'elle raye le verre. Les obus de rupture en acier forgé et trempé donnèrent la supériorité au canon sur la cuirasse jusqu'en 1892, année où l'on imagina les blindages en acier cémenté. La cémentation jointe à l'emploi d'alliages spéciaux procura des cuirassements contre lesquels les projectiles se brisaient ou rebondissaient. On trouva le remède, c'était de recouvrir la tête des obus d'une coiffe en métal relativement mou qui en favorisa la pénétration dans les plaques d'acier, à peu près comme la graisse favorise l'enfoncement des clous dans les bois les plus durs.

Les qualités de l'artillerie ne dépendent pas seulement du métal, de la poudre, du projectile mais encore de beaucoup d'autres facteurs parmi lesquels je me bornerai à parler de la rapidité de tir. C'est une question d'actualité.

Les grosses bombardes du temps passé ne tiraient que 5 à 6 coups par jour ; la mauvaise qualité du métal était surtout la cause de cette lenteur désespérante, il s'échauffait, s'amollissait et, de peur qu'elle ne se déformât ou ne crevât, on rafraîchissait la pièce après chaque coup. Au XVIIIe siècle on atteignait, pour les gros calibres, la vitesse de 5 coups par heure ; cette vitesse ne fut pas dépassée par l'artillerie lisse. Avant le XVIIIe siècle les pièces légères tiraient, au maximum, un coup toutes les 20 ou 30 minutes ; au XVIIIe siècle cette vitesse fut considérablement augmentée. Les canons de Frédéric II faisaient feu aussi vite que les cloches sonnaient ; ils tiraient 12 coups à la minute ; on cite des pièces saxonnes qui, en 1766, tiraient 14 coups. Ces chiffres se rapportent, il est vrai, à un tir à mitraille et, pour ainsi dire, sans pointage ; le règlement prussien pour le tir à boulets à exécuter sur le champ de bataille prescrivait un maximum de 4 coups par pièce. Quoi qu'il en soit, à cette époque on s'est pris d'un bel engouement pour la vitesse au détriment de la régularité et de la justesse de tir. On ne tarda pas à revenir à des pratiques plus rationnelles. Pendant les guerres de la Révolution et de l'Empire, la rapidité du tir à boulets n'excéda pas 2 coups, celle du tir à mitraille, 5 coups. En 1870, les batteries allemandes ne tirèrent pas plus vite.

La recherche d'une artillerie de campagne à tir rapide n'est donc pas récente, mais l'on constate que les artilleurs, après de longs et infructueux essais, se sont abstenus pendant plus de cent ans de nouvelles tentatives. Elles eussent été vaines ; car le machinisme n'était point en état de leur fournir les ressources qu'il leur offre aujourd'hui.

Une bouche à feu à tir rapide est organisée de manière que les opérations de chargement et de pointage soient

réduites au minimum. Pour que ces opérations puissent être entamées, la pièce doit être au repos ; on en conclut que le tir rapide exige, avant tout, une diminution notable de l'amplitude du recul et une mise en batterie automatique, ce à quoi la fixité des installations est éminemment favorable ; tout se résume alors dans des perfectionnements de mécanisme. Remarquons cependant qu'à l'origine l'adjonction d'engins mécaniques aux pièces fixes de gros calibre n'a pas eu pour but d'accélérer leur vitesse de tir, mais a été la conséquence de l'impossibilité d'assurer leur manœuvre à bras d'homme. Deux hommes suffisaient au transport du projectile le plus lourd de l'artillerie lisse ; il n'en fut plus de même quand il s'agit de manipuler des obus de plusieurs centaines de kilogrammes. Le poids des pièces, celui de leurs affûts se sont élevés aussi dans des proportions considérables ; enfin, le remplacement dans la guerre de siège et dans la guerre maritime de l'artillerie à ciel ouvert par l'artillerie cuirassée a restreint l'espace réservé aux emplacements des bouches à feu et de leurs accessoires ; la volée de certains canons doit être solidaire de l'embrasure. On comprend que ces différentes circonstances ont amené l'utilisation de plus en plus étendue d'appareils mécaniques pour le chargement, le pointage, la mise en batterie. De perfectionnements en perfectionnements on est arrivé à des résultats merveilleux. En décembre dernier, on a expérimenté au Havre un canon de côte de 240 mm. qui se charge automatiquement par la force du recul. Trois hommes suffisent à la manœuvre ; la rapidité de tir est de 3 coups par minute. Le canon pèse environ 10 tonnes ; son projectile de 163 kilogrammes possède une vitesse initiale de 500 mètres par seconde et porte à 8500 mètres.

On ne rechercha vraiment pour elle-même une grande rapidité de tir que lors de l'invention des torpilleurs qui, à raison de leurs faibles dimensions et de leur grande vitesse nautique, échappaient aisément aux coups des

canons des cuirassés et des croiseurs. Les premières bouches à feu à tir rapide firent leur apparition dans la marine à la fin de 1883 ; celles des plus forts calibres, 12 ou 15 cm., tirent 10 à 14 coups par minute, donc 20 coups et même davantage pendant que le torpilleur effectue sa course de combat, dont la longueur est de 1200 mètres environ. Les canons de moindre calibre peuvent tirer plus de 40 coups à la minute.

Peu après l'introduction des canons à tir rapide dans la marine, on les adopta dans les fortifications terrestres pour le flanquement des fossés et la défense des abords.

L'avantage d'accroître la rapidité du tir des pièces de campagne était tellement évident, surtout depuis l'emploi du fusil à répétition, que l'on ne manqua pas de s'efforcer à l'acquérir. C'était très difficile, car il fallait concilier des desiderata opposés, la mobilité pendant la marche et la fixité pendant le tir ; il fallait aussi, sous peine de renoncer à un véritable progrès, que la pièce à tir rapide fût plus puissante que la pièce à tir lent. La mobilité dépend de la réduction du poids de la voiture-pièce et de l'ensemble des munitions qu'elle contient ; la fixité dépend de l'augmentation du poids de la pièce, canon et affût, de la diminution du poids du projectile et de l'abaissement de la vitesse initiale ; la puissance dépend de l'élévation de cette vitesse, de l'augmentation du nombre de balles du shrapnel et de l'accroissement de leur force vive individuelle. La vitesse initiale, le poids de la pièce et le poids du projectile sont donc simultanément soumis à des conditions contradictoires. Ce sont ces éléments qu'il convient de fixer *à priori* de façon à se ménager la possibilité d'accroître la mobilité, la fixité et la puissance ; au point de vue balistique, ils caractérisent un système d'artillerie de campagne à tir rapide.

Au point de vue de l'organisation du matériel, la question primordiale est celle de l'affût. Il en existe deux solutions nettement différentes : l'affût rigide et l'affût à

déformation. L'affût rigide est muni d'une bêche de crosse et, accessoirement, de freins de roue qui assurent sa liaison avec le sol ; de cette façon le recul est transformé en un soulèvement que l'on réduit au minimum par l'interposition entre l'affût et le canon d'un corps métallique élastique, appelé berceau. Le soulèvement est parfois considérable et la pièce se cabre complètement. En tout cas, ce système ne supprime pas le dépointage et ne permet qu'une vitesse de tir d'une dizaine de coups par minute.

Dans le système à affût à déformation le canon est relié au berceau par un frein à récupération fixé, d'une part, à la culasse, d'autre part, à l'avant du berceau. Lors du tir, le canon guidé par des glissières recule sur le berceau et par l'action récupératrice du frein revient ensuite en batterie. L'affût est muni d'organes spéciaux assurant sa liaison avec le sol. Pendant le tir deux servants, protégés par des boucliers, sont assis sur des sellettes disposées entre les roues et le canon. Deux mécanismes distincts sont affectés au pointage en hauteur et à celui en direction. La rapidité de tir est, au maximum, de 30 coups à la minute, mais elle n'est utilisée qu'exceptionnellement. En France, où ce système est adopté depuis 1898, la vitesse ordinaire est fixée à 5 coups.

Aujourd'hui on peut considérer l'affût rigide comme une forme transitoire condamnée à disparaître ; l'Allemagne qui l'avait choisie en 1896, l'abandonne et la Belgique, après avoir failli lui donner la préférence à cause de sa robustesse et de sa simplicité, s'est convertie au système à déformation. C'est notre industrie nationale, la Société Cockerill, qui a construit, en 1891, le premier canon de campagne à tir rapide à affût à déformation (1). A cette époque, d'autres bouches à feu légères à tir rapide

Le Matériel de guerre de la Société de John Cockerill de Seraing à l'Exposition internationale de Bruxelles de 1897 (Extrait de la REVUE DE L'ARMÉE BELGE). Ch. Lemaire, Liége, 1898, pp. 17 et suivantes.

avaient été construites, mais leur puissance n'était pas suffisante pour que l'on pût les regarder comme propres à l'armement ordinaire des batteries de campagne ; elles n'étaient aptes qu'à des usages spéciaux. L'augmentation de l'intensité du feu de l'artillerie de campagne combinée avec des méthodes de tir judicieuses aura pour effet, dans certaines circonstances, de décupler l'action meurtrière de l'ancien tir à shrapnels. Sur des parties du champ de bataille, repérées au préalable, s'abattra une telle pluie de fer que, en quelques instants, le sol sera frappé de près de cent balles et éclats par mètre carré et que la mort y sera maîtresse du courage le plus audacieux.

Suivant le rapport de leur longueur à leur calibre, on distingue trois espèces de bouches à feu : les canons — ce sont les plus longues — les obusiers et les mortiers. Les canons tirent à forte charge ; leur trajectoire est très tendue, la vitesse initiale de leurs projectiles très considérable ; ils sont employés contre les troupes et les buts matériels verticaux. Les obusiers et les mortiers lancent, sous de grands angles d'élévation, jusqu'à 65° pour les mortiers, des projectiles qui retombent presque verticalement ; ce sont des bouches à feu qui conviennent aux buts couverts ou horizontaux ou qui ne seraient frappés que sous des angles peu favorables par les canons. Les obusiers et les mortiers sont surtout des pièces de siège et de place ; cependant, on les a introduits dans les batteries de côte afin d'arriver à défoncer les ponts des vaisseaux cuirassés et de les toucher ainsi dans leurs œuvres vives, les soutes aux poudres et les chambres de chauffe. Dans ces dernières années, on a adjoint des obusiers et des mortiers au matériel de campagne à cause de l'impossibilité avec le canon de détruire certains abris et d'atteindre les troupes tapies derrière les retranchements. Le défaut des obusiers et des mortiers est la grande difficulté de régler leur tir contre des buts de peu de profondeur ;

sur mer, où l'appréciation des distances est malaisée, il serait illusoire de compter sur leur efficacité.

L'artillerie la plus puissante est celle de côte et de marine, elle a connu des calibres de 45 cm. ; actuellement, grâce aux progrès balistiques, on ne dépasse plus une trentaine de centimètres. Voici un canon japonais de 32 cm., destiné aux tourelles d'avant des gardes-côtes. Il coûte 400 000 francs ; son affût, 500 000 ; la tourelle, 300 000 ; il porte à 18 kilomètres ; son projectile pèse 450 kgr. et coûte 3000 francs ; la charge, 140 kgr. et coûte 1400 francs. Voici un canon de côte allemand (1)

(1) Renseignements balistiques sur les pièces Krupp de gros calibre :

			30,5 cm. canon de côte L/40	28 cm. canon de marine L/40	28 cm. obusier de côte L/40	21 cm. canon de côte L/40	19 cm. canon de marine L/40	15 cm. canon de côte L/40
Calibre	de la pièce	millim	305	280	280	209,3	190	149,1
Longueur	de la pièce	mètres	12,2	11,2	3,44	8,4	7,6	5,96
Poids	de la pièce	kilogr	50 300	38 500	10 780	10 400	9950	5880
Angle d'élévation	maxim.	degrés	+ 22	+ 30	+ 65	+ 15	+ 20	+ 21
	minim.	degrés	— 4	— 4	— 5	— 3	— 5	— 5
Poids	affût	kilogr.	79 700	70 000	28 800	8000	9950	4300
	cuirasse	"	90 500	96 000	15 720	—	5000	760
	pivot	"	64 000	13 500	18 000	3000	1500	600
Poids	projectile léger	"	550	270	215	115	85	41
	projectile lourd	"	445	345	345	140	107	
Poids de la charge		"	132	90	13 / 11,5	31,4	22	13,1
Vitesse initiale	projectile léger	"	926	888	425	812	807	881
	projectile lourd	"	820	785	335	730	620	
Force vive à la bouche	en tout	tonnes-mètres	15 250	10 870	1980	5800	2825	1620
	pour 1 k. de la pièce	kilogr.-mètres	303	282	184	231	284	276
Pénétration près de la bouche	acier forgé	cm.	140	120,4	—	78,9	71,2	63,6
	acier durci	cm.	97	83,1	24,7	53,6	48,3	42,1
Portée			20 200	21 170	11 200	12 520	13 700	13 850

Düsseldorfer Ausstellung 1902. Führer durch die Krupphalle, III. Auflage, page 70. Düsseldorf, Schmitz und Olbertz, 1902.

de 30,5 cm. Il pèse 50 300 kgr. ; l'affût, la plate-forme et le pivot pèsent ensemble 234 000 kgr. ; le poids de ses obus est de 445 kgr. et de 350 kgr. ; sa portée est de 20 200 mètres. Si ce canon pouvait tirer sous un angle de 45°, il s'en faudrait de 200 mètres seulement que son projectile ne s'élevât à l'altitude du mont Everest, le plus haut sommet du monde. La vitesse initiale de l'obus léger est de 926 mètres à la seconde ; à cette allure vertigineuse, il ne lui faudrait pas deux minutes pour franchir la distance de Bruxelles à Liége.

Mais ces terribles engins n'ont qu'une vie éphémère, j'entends une vie réellement agissante. Le canon japonais, dont je parlais tantôt, ne peut tirer que 100 coups (1) ; à raison de 2/100 de seconde environ par coup, cela fait deux secondes, et la construction d'un canon de gros calibre exige deux années !

Voilà un thème facile aux lamentations de certains économistes sur l'improductivité des dépenses militaires. J'ajouterai à leur mauvaise humeur en constatant qu'en 1901, sur les champs d'expérience des usines d'Essen on a tiré 23 800 coups de canon, envoyé dans l'espace 630 000 kgr. de projectiles, consommé 60 000 kgr. de poudre sans fumée, et que l'essai d'une seule plaque de blindage coûte plus de 25 000 francs. Il est vrai, d'autre part, que les établissements Krupp, dont le canon a fait la fortune, emploient plus de 40 000 personnes, en font vivre 150 000 et consacrent annuellement plus de 4 millions de francs au service des assurances, des caisses de retraite et de secours de leur personnel. Dans notre pays, la

(1) Durée en coups de quelques canons :

Canon français de 24 cm.	250 coups
Canon russe de 18 cm.	450 »
Canon français de 15 cm.	4 à 500 »
Canon japonais de 12 cm.	800 »
Canon français à tir rapide de 7,5 cm.	2 à 3000 »

Société Cockerill commença en 1863 à fabriquer du matériel et des navires de guerre, et les fournitures qu'elle a faites en Belgique et ailleurs ont certainement contribué à sa prospérité. Suivant les traces des plus importants établissements similaires de l'étranger, elle construisait il y a quelques années un nouvel atelier de 2000 m^2 lui permettant de fabriquer des canons de tous calibres. A notre époque, les organismes sociaux ont multiplié leurs influences les uns sur les autres et l'organisme militaire peut revendiquer légitimement sa part dans le développement de la science et de l'industrie et, partant, de la richesse publique.

Nous sommes loin aujourd'hui de ce canon du temps passé, le seul, d'ailleurs, que nous nous figurions dans les jeux de notre enfance, composé d'un affût rudimentaire, d'un tube et de deux roues. Les progrès sont immenses et l'on croit rêver en lisant que les Chinois, inventeurs de la poudre, se servaient au milieu du siècle dernier de canons en bois cerclés de fer (1). Si les armes se sont perfectionnées, s'il a fallu une ingéniosité subtile et parfois du génie pour les inventer, une technique savante pour les construire, elles ne valent rien dans les mains de l'ignorance et de la routine. L'industrialisation de plus en plus grande de l'art de la guerre impose aux officiers l'obligation d'entretenir et d'accroître leurs connaissances scientifiques. Les guerriers des premiers âges se jetaient aveuglément les uns sur les autres, et leurs chefs, les plus robustes d'entre eux, se défiaient à des combats singuliers. Peu à peu, au fur et à mesure que par suite du perfectionnement des armes de jet, un espace de plus en plus étendu sépara les combattants et qu'une attente de plus en plus longue précéda le choc, à côté de la force matérielle on vit grandir en importance la force morale. Des publicistes militaires éminents ont mené une campagne d'exaltation en

(1) REVUE DE PARIS, 1er janvier 1905, *Canon et Cuirasse*, par ***.

faveur de la force morale. C'était justice : c'est elle qui engendre héros et martyrs ; c'est elle qui vient, dans l'Extrême-Orient, aux yeux du monde étonné, de faire disputer, pierre par pierre, au milieu des plus affreuses circonstances, les remparts de Port-Arthur. Mais voici qu'une autre force se montre aussi nécessaire aux armées que la force matérielle et la force morale : c'est la force scientifique. Ordonnatrice de la première, inspiratrice quelquefois et toujours soutien de la seconde, elle leur sert de trait d'union. N'en soyons point surpris. Nous savons que depuis cinquante ans la science a promené un éclatant flambeau sur tous les chemins des investigations humaines, que, cessant de se confiner dans certains domaines de prédilection, telle la mathématique universelle, reculant de toutes parts les bornes de l'entendement, marchant de progrès en progrès, elle a revêtu, en sociologie par exemple, des formes inconnues jusqu'alors. A quelque profession que nous appartenions, la science se dresse devant nous ; nous la rencontrons chaque jour et presque à chaque pas et, bien souvent, malgré qu'il existe de plus hautes raisons de solidarité entre les hommes, elle nous rapproche et elle nous unit.

Capitaine commandant Beaujean.

LE SIXIÈME SENS

On admet couramment que l'homme normal possède cinq sens, ni plus ni moins. Dans notre pays du moins on dit communément de quelqu'un que l'on juge un peu timbré : il ne jouit pas de ses cinq sens. Le vulgaire réduit ainsi nos moyens d'orientation dans la vie aux indications fournies par la vision, l'audition, le toucher, le goût et l'odorat. Depuis longtemps les physiologistes et les biologistes ont constaté que l'être sensible éprouve des stimulations qu'on ne saurait ranger parmi les cinq espèces classiques. Aussi a-t-on proposé d'admettre un sens pour la douleur, par exemple, un autre pour la faim, d'autres pour l'innervation, pour les modifications générales de l'organisme, nos déplacements et nos mouvements. Parmi tous le plus anciennement admis est *le sens musculaire*, que l'on peut à bon droit, chez l'homme, nommer le sixième sens (1). Un Anglais, Ch. Bell, professa, le premier, l'existence du sens musculaire. Il montra que nous avons réellement conscience, c'est-à-dire connaissance immédiate, des contractions de nos muscles. Il avait eu l'occasion d'en observer plusieurs cas. « Une mère nourrissant son enfant, atteinte de paralysie, perd la puissance d'un côté du corps, et en même temps la sensibilité de l'autre, circonstance extraordinaire et fâcheuse. Cette femme ne pouvait tenir l'enfant au sein, avec le bras non paralysé, qu'à la condition de regarder son nourrisson.

(1) Les zoologistes admettent aussi un sixième sens chez les poissons, ce n'est pas le sens musculaire.

Aussitôt que son attention venait à être distraite, les muscles du bras se relâchaient et l'enfant était en danger de tomber ... Nous voyons dans ce cas que les nerfs du bras jouissent de deux propriétés distinctes... qui doivent l'existence à un ordre spécial de nerfs, et enfin, que la puissance musculaire est insuffisante pour régler les mouvements des membres, si la *sensibilité musculaire* n'est là pour l'accompagner (1) ». Sensibilité musculaire ; le mot était créé, il n'a peut-être pas encore actuellement un sens nettement défini et généralement accepté. Si d'aucuns ont franchement considéré le sixième sens comme percevant les diverses contractions des muscles, d'autres ont contesté cette interprétation en attribuant la perception de notre activité musculaire en tout ou en partie au sens du toucher, à un sens articulaire. Ainsi, si nous avons conscience des déplacements de notre bras dans l'espace, c'est ou bien parce que la peau ou les nerfs qui s'y terminent sont modifiés d'une façon quelconque par ces déplacements, ou bien parce que, dans les articulations où se font les mouvements, des nerfs spéciaux sont impressionnés par les déplacements des surfaces en contact. Du sens musculaire nous disons : 1° il a pour organe une série de nerfs sensitifs qui, partant en majorité de la moelle par les racines postérieures, se distribuent aux différents muscles du corps ; 2° les variations dans le degré de contraction des muscles qui travaillent, agissent mécaniquement sur les terminaisons de ces fibres sensorielles et y déterminent des courants nerveux tout comme la stimulation lumineuse en provoque dans le nerf optique et les vibrations sonores dans le nerf acoustique. Nous reviendrons sur ces points en développant les preuves anatomiques, physiologiques et psychologiques de l'existence du sens musculaire.

(1) Ch. Bell, *The hand, its mechanism and vital endowments as evincing design*, Londres, 1833, p. 202 : cité par M. Claparède (Thèse : *Du sens musculaire, etc.*, Genève, Ch. Eggimann, 1897).

Considérons les arguments proposés par ceux qui nient l'existence du sixième sens et d'abord ceux qui expliquent la sensation de déplacement par le toucher. On pourrait soutenir que, si je sens le mouvement de flexion de mon avant-bras sur mon bras, cela résulte de ce que la peau du membre frotte contre mes vêtements ; il est évident que ce frottement est perçu, mais si mon bras est absolument dénudé je percevrai néanmoins cette flexion, même si elle est assez faible pour que la peau de l'avant-bras ne puisse toucher celle du bras dans le pli du coude. Et si je fais ces mouvements du bras dans l'eau, alors que le tégument est partout en contact avec un milieu homogène, les mouvements même légers des membres seront néanmoins perçus. D'autres adversaires diront que, si le toucher peut ne pas intervenir dans certaines sensations de mouvement, comme celles dont il vient d'être parlé, le sens articulaire intervient ; si faible que soit la flexion de l'avant-bras sur le bras, l'articulation du coude est modifiée ; donc, il n'y a pas intervention du toucher, soit ; mais ce qui nous renseigne sur la flexion c'est la stimulation des nerfs sensitifs de l'articulation ; il en sera de même toutes les fois que sans l'intervention du toucher nous percevrons un déplacement des parties mobiles de l'organisme. Mais comment les partisans de cette doctrine expliqueront-ils par l'intervention du sens articulaire la perception des mouvements de la pointe de la langue, par exemple ? Sans aucune intervention du toucher, lorsqu'on remue même très légèrement la pointe de la langue, celle-ci étant retirée en arrière et la bouche étant fermée, on perçoit très nettement les légers mouvements de bas en haut imprimés à la pointe.

A côté de ceux qui essayent d'expliquer nos sensations musculaires par l'intervention d'autres sens, il est des savants qui déclarent résolument que nous ne percevons pas les contractions de nos muscles même quand ces contractions sont intenses. Remarquons qu'il existe deux

sortes de sensations musculaires; les premières sont celles que nous ressentons lorsque des contractions et des relâchements déterminent le déplacement de parties mobiles ; quand il se produit des mouvements proprement dits. La seconde espèce de sensation musculaire a lieu sans déplacement proprement dit : supposons l'avant-bras tenu en supination formant un angle droit avec le bras ; pour maintenir le membre dans cette position il faut une certaine contraction, notamment du biceps, et un certain relâchement, surtout dans le triceps ; au moment où le mouvement de flexion se produit, nous percevons une première sensation musculaire. Mais l'avant-bras a un certain poids; pour soutenir ce poids le biceps doit continuer à se contracter avec une force proportionnelle, d'où une autre sensation musculaire, celle résultant de la contraction continue du biceps faisant contre-poids. Si l'on charge cet avant-bras, qui pèse déjà un certain poids, d'autres poids supplémentaires, la contraction du biceps devra devenir de plus en plus intense, il y aura une contraction brusque, au moment où l'addition du poids tendra à faire fléchir l'avant-bras, puis une contraction un peu moindre mais continue proportionnée à l'effort déployé. Les sensations musculaires provoquées par l'addition de poids de valeur connue sont susceptibles d'être comparées entre elles et mesurées approximativement du moins. Le poids que nous attribuons à un objet donné dépend de la sensation musculaire provoquée par la contraction faisant contrepoids. C'est la contraction brusque du début, lorsque nous soupesons, qui est la plus sensible ; mais l'autre sensation est néanmoins perçue.

On comprend qu'il soit possible de mesurer la finesse du sens musculaire chez un sujet donné par les moindres variations de poids qu'il est capable de distinguer. Et de fait, on peut déterminer par ce procédé la délicatesse du sens musculaire à la condition d'agir avec certaines précautions. On suspendra, je suppose, au doigt index d'un

sujet un poids de 100 grammes; il s'agira de trouver le poids le plus faible supérieur ou inférieur qu'il pourra distinguer du poids étalon, 100 grammes. Pour y parvenir il faudra suspendre chacun des poids employés à un fil, rigide si possible, terminé par un anneau mince, n'ayant avec le doigt qu'un contact linéaire, et dont la température ne diffère pas sensiblement de celle du doigt. Il faudra que le sujet ne voie pas les poids qu'on lui fait peser car, leurs dimensions étant différentes, il s'ensuivrait une cause d'erreur dont nous parlerons tantôt. Que si l'on veut permettre au sujet de regarder tout en soupesant, il conviendra de dissimuler les poids dans des récipients tous égaux de formes et de dimensions, et alors encore on risquera de provoquer des erreurs en sens inverse de la précédente. C'est qu'en effet, quand un homme normal — et c'est à dessein que j'ajoute le qualificatif — quand un homme normal soupèse un objet quelconque dont il connaît d'une certaine manière le volume, cette dernière connaissance modifie la sensation de pesanteur. Une caisse vide paraît toujours relativement plus légère qu'un cube plein pesant exactement le même poids et par conséquent de volume beaucoup moindre. Que l'on connaisse le volume de l'objet pesant, soit par la vue, soit par le toucher, la modification de la notion de pesanteur se fait toujours sentir bien qu'elle puisse agir plus ou moins dans l'un et l'autre cas.

Prenons dix objets pesant tous le même poids, 125 grammes, par exemple, mais ayant chacun un volume sensiblement différent. Si nous les soupesons sans les regarder ni les toucher, les tenant suspendus à un fil rigide, au moyen d'un anneau mince porté à la température du doigt, nous jugerons que ces dix objets pèsent sensiblement le même poids. Refaisons la même opération en regardant chacun des objets suspendus aux fils rigides, et nous estimerons que le plus petit est le plus lourd, le plus grand le plus léger. Si l'on nous prie de les ranger

tous les dix en commençant par le plus léger et finissant par le plus lourd, il se trouvera qu'ils seront placés en diminuant de volume depuis le premier jusqu'au dernier. Si nous soupesons ces mêmes objets, dans l'obscurité encore, mais non plus suspendus à un fil, tenus au contraire sur le plat de la main, nous jugerons encore qu'ils sont de poids inégaux et nous les rangerons en série comme précédemment, avec cette différence que les volumes décroîtront selon la notion que le toucher nous en aura fournie et qui peut différer quelque peu de celle que nous avait donnée la vue.

Partant de ce fait que, si nous connaissons le volume d'un objet, notre notion de poids en est altérée, un savant genevois, M. le docteur Flournoy, professeur à l'Université de Genève, conclut que le sens musculaire n'existe pas. En effet, ce sens devrait nous renseigner sur le degré de contraction de nos muscles faisant contrepoids à un objet pesant ; donc il nous renseignerait sur le poids réel, ou absolu si l'on veut, des objets soupesés. Or il suffit de regarder ou de toucher des corps pesants pour ne plus percevoir leur poids absolu ; il suffit de regarder ou de toucher pour que le sens musculaire ne donne plus la notion de poids : preuve que ce sens n'existe pas. S'il existait, il donnerait directement et malgré tout la notion de poids absolu ; la vue et le toucher pourraient ajouter d'autres notions, mais la première devrait subsister. L'illusion en vertu de laquelle les enfants disent qu'un kilo de plumes pèse infiniment moins qu'un kilo de plomb, cette illusion, dis-je, montre que la notion de poids absolu s'évanouit dans les circonstances ordinaires de nos perceptions. Pour établir sa théorie, M. Flournoy a fait faire par 50 personnes des séries d'expériences à peu près dans les conditions que nous avons décrites : soupeser des objets dans l'obscurité, les ranger par ordre de poids, etc.

Les objets présentés étaient assez hétéroclites : une caisse, un étui, etc., pesant chacun 112 grammes, dont le

plus grand cubait 2100 centimètres et le plus petit 10 centimètres seulement. L'expérimentateur présentait les dix objets disposés sans ordre sur une table et priait les sujets de les aligner suivant le poids.

Sur cinquante personnes, « une seule, très exercée à estimer le poids réel des corps d'après leur nature et leur volume, a diagnostiqué l'égalité des poids... aucune des 49 autres personnes n'a deviné l'égalité des poids... et toutes ont éprouvé une différence considérable, sinon entre tous les objets dont quelques-uns paraissaient presque égaux et n'ont été classés qu'avec incertitude, du moins entre les extrêmes de la série ». Le plus grand des dix objets pesant 112 grammes a été déclaré le plus léger, le plus petit a été estimé le plus lourd ; les huit objets intermédiaires ont généralement paru plus lourds à mesure que leur volume diminuait.

Pour la seconde série d'expériences, M. Flournoy avait fixé à chaque objet un fil rigide terminé par une boucle dans laquelle les sujets introduisaient le doigt ; 31 sujets nouveaux ont été priés de ranger les objets (portés maintenant à 120 grammes) dans l'ordre des poids croissants. L'arrangement a été le même que dans les expériences précédentes. L'objet le plus grand a été déclaré le plus léger, et le plus petit trouvé le plus lourd.

Quand les sujets répétaient l'expérience en tenant les yeux fermés, tous les objets étaient estimés égaux en poids.

Aux expériences de M. Flournoy et à la conclusion qu'il en tirait, je répondis en affirmant que s'il est vrai qu'en soupesant dans l'obscurité des objets suspendus à un fil nous ne percevons que des poids que l'on peut appeler absolus, il n'est pas moins certain que lorsque nous voyons ou touchons les objets soupesés nous percevons à la fois des poids et des volumes, donc fatalement le rapport de l'un à l'autre ou des poids relatifs, certaines densités. Mais par le fait que nous percevons des densités — c'est-à-dire à la fois le volume, par la vue ou le toucher, et le

poids absolu, par le sens musculaire — notre illusion, si on peut appeler illusion la perception des densités, résulte justement du concours des sens visuel et tactile d'une part et du sens musculaire d'autre part ; le rôle de celui-ci est aussi important que celui des deux autres, et s'il n'intervenait pas nous n'aurions pas de notion du poids relatif ; l'illusion dite de poids prouve, autant et aussi bien que la notion réelle de poids, l'existence et l'intervention du sens musculaire. Que lorsque nous voyons ou touchons un corps pesant, c'est le rapport du poids au volume, sa densité ou mieux une certaine densité que nous percevons, on s'en convainc aisément par l'expérience de tous les jours : prenons un objet de poids constant, une bouteille pleine d'eau par exemple, plaçons-la sur la main alternativement par le goulot (sur le bouchon) ou par le fond : dans le premier cas elle paraît toujours plus pesante que dans le second ; le poids est constant, mais dans le premier cas la surface en contact est petite, d'où estimation d'un volume réduit ; dans le deuxième cas la surface couverte est considérable, d'où l'idée de volume plus grand.

Pour démontrer expérimentalement mon assertion, et prouver que des poids nous paraissent égaux quand les densités sont égales, je fis construire une série de cubes ouverts d'un côté et dans lesquels on pouvait introduire des poids à volonté. Deux séries d'expériences furent instituées : le sujet soupesait des cubes qu'il regardait, puis il soupesait des cubes tenus sur la paume de la main posée à plat ; l'expérience se faisait dans l'obscurité. Le plus petit des cubes employés avait exactement cinq centimètres de côté, il pesait 39 grammes, sa densité était donc de 0,31. Or 39 sujets ont déclaré égal le cube de six centimètres de côté, lorsque celui-ci pesait 70 grammes (dans les expériences où le toucher seul renseignait sur le volume), ce qui donne une densité de 0,32 contre 0,31, donc sensiblement égale ; ils ont estimé égal le cube de sept centimètres de côté quand il pesait 100 grammes, ce qui donne

une densité de 0,30. Dans la série d'expériences où la vision renseignait sur le volume, les mêmes sujets ont déclaré égal au cube étalon de cinq centimètres, pesant 39 grammes, le cube de six centimètres de côté quand celui-ci pesait 68 grammes, ce qui donne une densité de 0,31 identique à celle de l'étalon, et égal à ce dernier le cube de sept centimètres de côté quand il pesait 98 grammes, soit une densité de 0,29. On voit que pour ces dimensions et ces poids l'égalité est perçue quand la densité est identique, et que ce que nous appelons poids d'un objet vu ou touché est bien évidemment le rapport de son poids réel à son volume. Quand on continue à comparer à l'étalon des cubes de plus en plus grands, d'autres illusions interviennent qui changent un peu le rapport ; la densité diminue (1).

Par la suite M. le docteur Claparède, privat-docent à l'Université de Genève, a combattu ces conclusions ; dans son dernier travail il conclut que l'illusion résulte de l'effort trop grand que nous faisons instinctivement pour soulever un objet de volume considérable ; en voyant une caisse de 2100 centimètres cubes par exemple, nous supposons qu'elle a un poids plus ou moins proportionné, nous nous mettons en mesure de faire un effort approprié et contractons fortement nos muscles pour la soulever : en ce faisant nous constatons que l'effort est disproportionné, et nous concluons que l'objet est plutôt léger. Cette interprétation, acceptable si on ne tient compte que de la sensation que produit le soulèvement, n'est plus guère admissible quand le sujet reçoit des objets pesants sur les mains posées à plat sur une table. Je renvoie entre autres au travail qu'un de mes élèves, M. Laureys, a publié sous le titre suivant : *Comment l'œil et la main nous renseignent différemment sur le volume des corps* (2). Des nombreuses

(1) Voyez mon étude sur les illusions de poids dans *Études de Psychologie*. Paris, Alcan, 1901.

(2) ANNÉE PSYCHOLOGIQUE. Paris, Schleicher frères, 1900.

expériences que j'ai faites et dans lesquelles le sujet ne soulevait nullement les objets, il résulte que l'illusion se produit toujours quand cette sensation d'effort fait complètement défaut.

Après avoir montré l'inanité des tentatives entreprises pour prouver l'inexistence du sens musculaire, exposons brièvement les preuves directes de son existence. Elles sont de trois sortes.

Les premières sont d'ordre anatomique ; elles concernent l'organe même qui recueille les sensations musculaires. On sait que les nerfs rachidiens naissent sur la moelle épinière par deux racines, l'une antérieure composée presque exclusivement de fibres motrices se rendant aux principaux muscles, l'autre postérieure presque exclusivement composée de fibres sensitives. Or, ceci se déduit d'expériences trop longues à exposer ici, une partie des fibres qui aboutissent aux muscles ne viennent pas des racines antérieures motrices des nerfs rachidiens, et en outre une partie des fibres sensitives des racines postérieures ne vont pas à la peau ; les muscles en reçoivent un certain nombre. Il y a, par conséquent, dans les muscles deux sortes de terminaisons nerveuses : les unes motrices déterminant les contractions, les autres sensitives modifiées, mécaniquement, sans doute, par ces contractions mêmes. La terminaison de ces fibres sensitives affecte une forme particulière bien déterminée et s'appelle le fuseau musculaire. Comme le dit M. R. S. Woodworth (1), la découverte des organes du sens musculaire ne date pas de loin. La théorie a précédé la preuve histologique de l'existence d'un sens spécial. Ce sont surtout les travaux de M. C. S. Sherrington qui ont fait faire un pas décisif à la théorie de Ch. Bell. Sherrington ne s'est pas contenté de preuves anatomiques — « Dans les muscles où toutes les

(1) *Le Mouvement*, dans : *Bibliothèque internationale de Psychologie expérimentale normale et pathologique*. Paris, Doin, 1903.

fibres nerveuses motrices ont été enlevées par dégénération, je n'ai jamais manqué de trouver chaque fuseau dans le muscle qui possédait encore des fibres nerveuses myélinées. On peut suivre ces fibres, qui partent des racines sensorielles, pénètrent dans le fuseau et s'y terminent (1) » — il a essayé de les renforcer par d'autres preuves physiologiques, notamment en produisant des réflexes par la stimulation directe d'un muscle ou de son nerf. « Une expérience très instructive est celle de Sherrington, qui sépare d'abord le cerveau du reste du système nerveux, par une section au-dessus du niveau du *pons Varolii*. Cette opération donne lieu à la *rigidité décérébrée*, condition d'une forte contraction tonique des muscles extenseurs. Ensuite il coupe le nerf qui soutient l'un des muscles flexeurs de derrière la cuisse et stimule le tronçon central du nerf coupé. Le résultat est une contraction réflexe des autres flexeurs et une relaxation des extenseurs (2). » On a trouvé également des nerfs sensitifs dans les jointures, mais on n'a pu démontrer qu'ils se trouvent dans la surface articulaire elle-même ; il semble même probable que ces nerfs se terminent dans l'intérieur de l'os. Quoi qu'il en soit, concluons avec M. Woodworth : « L'évidence anatomique et physiologique de l'existence des nerfs sensoriels est mieux acquise pour les muscles que pour les jointures (3). »

L'existence de nerfs sensitifs spéciaux se terminant dans les muscles n'est pas une preuve suffisante de l'existence de sensations musculaires *conscientes*. On a montré qu'il y a un organe sensoriel, des nerfs sensitifs dont l'excitation provoque des réflexes ; démontrons maintenant que les contractions musculaires, stimulants spécifiques de ces nerfs, peuvent arriver à l'écorce cérébrale et nous donner

(1) Cité par Woodworth, *ibid.*, p. 6.
(2) Id., *ibid.*, p. 10.
(3) Id., *ibid.*, p. 11.

des sensations conscientes du même genre que celles que nous envoient l'œil, l'oreille et les autres sens.

Il faut prouver que des stimulations des nerfs sensitifs se terminant dans les muscles, donnent réellement et distinctement des sensations. La grosse difficulté consiste à séparer le sens musculaire de celui du toucher, à supprimer toute intervention possible des nerfs de la peau. Soit que l'on opère sur des sujets qui, par suite d'accident ou après une opération, ont les muscles mis à nu, ainsi que l'a fait Duchenne, soit que l'on anesthésie la peau du sujet comme l'a fait Goldscheider (1), dans l'un et l'autre cas les stimulations électriques ou les pressions produisent des sensations émoussées si la stimulation est faible, et très douloureuses si elle est suffisamment intense. J'ai deux fois observé moi-même cette dissociation bien nette entre les sensations de toucher proprement dites et le sens des mouvements; c'était au moment où on m'arrachait une grosse molaire après m'avoir soigneusement anesthésié la muqueuse au moyen d'une solution de cocaïne ; je n'éprouvais pas une douleur vive semblable à celle que je redoutais pour l'avoir plusieurs fois ressentie, mais j'avais la perception très nette des secousses que le dentiste imprimait à son davier et un sentiment vague de compression douloureuse.

C'est surtout dans certaines maladies nerveuses que l'on voit le rôle que le sens musculaire joue dans la coordination de nos mouvements. Un sujet dont un membre est complètement anesthésié ne peut plus mouvoir ce membre sinon en le regardant, c'est-à-dire en substituant aux images motrices musculaires et tactiles qui font défaut, des images motrices visuelles. Si au contraire l'anesthésie ne s'étend qu'aux seuls nerfs tactiles, le malade peut mouvoir le membre sans le regarder ; on n'observe dans ces mouvements qu'une certaine incertitude, des tâtonnements.

(1) Cité par Woodworth, *ibid.*, p. 12.

Ces anesthésies totales sont des plus instructives pour montrer jusqu'où va l'influence du sens musculaire sur nos mouvements habituels. Songeons que la simple abolition de la sensibilité cutanée n'empêche ni l'exécution de nos divers mouvements usuels, ni même la perception de ces mouvements, ni encore la perception des poids. Un sujet dont le sens tactile est virtuellement supprimé, pourra faire les expériences dont j'ai précédemment parlé ; or voici quelle est la situation d'un sujet privé à la fois et du sens tactile et du sens musculaire : au lieu d'un être presque normal, nous avons l'étrange personnage dont MM. Gley et Marillier nous donnent la description. Il s'agit d'un malade entièrement dépourvu de toute sensibilité tant superficielle que profonde, dans la moitié supérieure du corps.

« Lorsque L... a les yeux bandés, nous pouvons placer son bras dans toutes les positions que bon nous semble. Il ne sait pas que nous avons changé ce bras de place. Nous pouvons, sans qu'il s'en aperçoive, le fléchir et l'étendre alternativement. Il a la main posée sur le genou ; nous ôtons sa main, nous élevons son bras au-dessus de sa tête, en même temps que nous posons notre main sur son genou ; il croit que c'est toujours la sienne qui occupe cette place. Nous pouvons faire exécuter à son bras tous les mouvements que nous voulons, sans qu'il en sache rien, et cependant il exécute lui-même — en tâtonnant, il est vrai, et avec de grandes difficultés et un retard notable — les mouvements que nous le prions d'accomplir.

» Remarquons, du reste, que L... est devenu maladroit : il casse les objets qu'il touche — incapable qu'il est de mesurer son effort — lâche son verre, sa bougie dès qu'il cesse de regarder sa main. Les mouvements qui lui sont habituels, il peut encore les exécuter, sans être obligé de les diriger en regardant ce qu'il fait, mais il ne peut plus les exécuter aussi sûrement.

» Nous prenons trois flacons de grès — deux sont vides

et pèsent chacun 250 grammes, le troisième est plein de mercure et pèse 1850 grammes. Nous prions L... de les soupeser et de nous dire lequel est le plus lourd. Il déclare qu'il les trouve tous trois pareils... Il a même déclaré, tenant à la main le flacon plein de mercure, ne lui trouver aucun poids.

» Nous plaçons successivement dans sa main (les yeux étant toujours bandés) un morceau de cire à modeler, une tige de bois très dur, un gros tube de caoutchouc, un journal plié en long et froissé, et nous le prions de serrer. Il ne sent aucune différence de résistance et ne s'aperçoit même pas qu'il tienne rien dans sa main.

» Nous avons attaché très solidement à L... les avant-bras sur une table avec une bande, de manière à ce qu'il ne puisse les fléchir. Nous lui avions, bien entendu, tout d'abord bandé les yeux. Nous l'avons prié alors de plier les bras et de nous dire quand il aurait accompli le mouvement. Dans toutes les expériences que nous avons faites, il a toujours cru avoir réussi à plier complètement les bras, tandis qu'en réalité ils bougeaient à peine. Nous lui avons demandé alors comment, ne voyant pas et ne sentant pas, il pouvait savoir qu'il avait plié les bras ; il nous a répondu qu'il n'en était pas bien sûr, mais qu'il croyait bien avoir accompli le mouvement, à cause du temps qu'il y avait mis (1). »

Cette longue mais si minutieuse description montre mieux que toutes les explications le rôle fondamental du sens musculaire dans nos mouvements les plus habituels.

Pour terminer ce résumé des preuves de l'existence d'un sens spécial nous renseignant sur les mouvements de nos divers muscles, il faut examiner quelle est exactement la notion que nous percevons à chacun de nos mouvements conscients. Il faut bien avouer que la localisation de

(1) Revue Philosophique, 1887, XXIII, cité d'après M. Woodworth, *op. cit.*, p. 15.

l'excitant si précise quand il s'agit de la vision, voire de l'audition et du toucher, semble beaucoup plus vague quand il s'agit du mouvement. Est-ce dans nos muscles, dans nos articulations ou sur nos tendons que commencent les sensations de mouvement ? D'après les données histologiques, les fuseaux musculaires étant localisés dans les muscles, nous devrions répondre : les mouvements perçus commencent dans les muscles. Malheureusement les divers expérimentateurs ne sont pas d'accord sur cette conclusion, quelques-uns et non des moindres considèrent les articulations comme le siège des mouvements actifs et passifs. D'après Woodworth, les diverses sortes de sensations musculaires commencent sur des points différents : ainsi les sensations de *rotation active et passive* commencent dans les jointures ; les sensations de *crampes* dans les muscles ; les sensations de *fatigue* en partie dans les muscles, en partie dans les jointures. Quant aux sensations de *pesanteur* et de *tension musculaire*, une observation minutieuse montre qu'elles intéressent davantage les articulations et peu les muscles eux-mêmes. Une dernière sorte de sensations musculaires, les sensations de *résistance*, surtout étudiées par Goldscheider, semblent aussi intéresser surtout les articulations.

II

Longtemps considéré comme négligeable, le sens musculaire doit désormais être placé au même rang que les cinq autres sens que possède tout homme normal ; il a un organe spécial, très étendu ; comme le toucher, le sixième sens a pour appareil tout un faisceau de nerfs crâniens et spinaux, spinaux surtout, dont les fibres se terminent dans les fuseaux musculaires, dans les muscles mêmes ou dans les parties directement voisines. Le stimulant propre spécifique du sixième sens est la contraction musculaire

ou mieux la modification apportée dans le degré de contraction du muscle.

Et non seulement le sens musculaire avec son appareil spécial et son stimulant spécifique doit être mis au même rang que les cinq autres, mais si l'on tient compte du rôle essentiel qu'il joue dans l'ensemble de nos sensations et perceptions, il faut le considérer comme le premier de tous, comme le sens fondamental. Il y a vingt ans un professeur de clinique, le Dr Verriest de l'Université de Louvain, me formulait cette proposition ; j'en fus alors surpris, mais profondément frappé : « C'est notre sens fondamental. » Cette idée m'a poursuivi souvent ; j'y ai beaucoup réfléchi et je dois déclarer qu'après toutes mes expériences personnelles, mes observations et mes lectures, je suis absolument convaincu aujourd'hui que mon savant collègue a parfaitement raison. Je ne puis donner tous les arguments qui militent en faveur de cette thèse ; il en est tirés des faits cliniques, de l'observation, de la vie courante, etc. ; je me bornerai aux preuves simplement psychologiques et je choisirai autant que possible des faits que chacun peut vérifier.

Quand un son frappe l'oreille, qu'un rayon lumineux ébranle la rétine, ni les nerfs gustatifs, ni les olfactifs, ni ceux du toucher n'en sont sensiblement affectés, chacune de ces cinq sortes de sensations se limite à son organe propre. Or le rayon lumineux qui frappe la rétine n'affecte pas seulement les centres optiques ; la vibration sonore qui ébranle l'organe de Corti, ne s'arrête pas aux centres acoustiques ; l'un et l'autre passent dans des muscles et modifient plus ou moins la tonicité de ceux-ci. Ce n'est point là une hypothèse, une simple déduction, mais une vérité expérimentalement démontrée, absolument établie. En 1887, M. le Dr Féré, médecin de l'Hospice de Bicêtre, publiait un petit volume fort suggestif intitulé : *Sensa-*

tion et mouvement, études expérimentales de psychomécanique (1).

Partant des observations d'anthropologistes, de physiologistes et de cliniciens sur la puissance de l'effort musculaire, M. Féré entreprit de mesurer l'énergie que diverses stimulations engendrent dans la musculature. Chacun sait que sous l'empire de certaines stimulations psychiques la force musculaire d'un sujet est susceptible de s'accroître dans des proportions considérables. Les émotions notamment produisent sur l'énergie musculaire des effets excitants ou déprimants que l'observation courante nous permet de constater chaque jour. La colère peut doubler nos forces, la peur nous rend faibles comme des enfants. Or cette action excitante ou déprimante n'est pas propre seulement aux émotions, elle se manifeste encore plus ou moins après chaque sensation. Si l'on affirme que les sonneries éclatantes d'une fanfare belliqueuse accroissent l'énergie des soldats, nul ne s'en étonnera ; mais que l'on prétende que l'action d'une lumière rouge produise un semblable effet, cela pourra sembler moins compréhensible. Il en est pourtant ainsi. Les sensations auditives, visuelles, olfactives, etc. produisent, sans l'intervention de l'association des idées, directement et par elles-mêmes une action excitante ou déprimante sur la musculature, une modification dans la tonicité et conséquemment dans la force des muscles. Citons quelques faits.

Pour mesurer l'action dynamogène d'une sensation donnée, on procède à peu près comme suit. Le sujet étant installé convenablement à portée d'un dynamomètre inscripteur, fait une série de pressions ; on note la valeur de celles-ci. Puis on fait brusquement intervenir une stimulation visuelle, auditive ou autre et on note les accroissements ou diminutions de pression correspondants. Pour mesurer l'influence des sons, M. Féré s'est servi de

(1) Paris, Alcan.

diapasons donnant des nombres variables de vibrations (pour les détails, je renvoie à son ouvrage) (1). Il a pu constater que l'action dynamogène des sons varie, et avec la hauteur, et avec l'intensité. Citons les résultats obtenus dans une expérience où l'on mesurait l'influence du nombre de vibrations. Un diapason à poids, construit tout exprès pour obtenir avec le même instrument huit notes qui se suivent depuis ut_2 jusque ut_3 inclusivement, a servi à stimuler le nerf acoustique, d'abord par l'oreille comme cela se passe habituellement, et puis directement à travers la boîte crânienne. Les excitations portant sur le nerf par la voie ordinaire du conduit auditif externe et de l'oreille moyenne ont donné les résultats suivants :

Ut_2 . . .	26 kil.	Sol_2 . . .	31 kil.
$Ré_2$ . . .	27 »	La_2 . . .	35 »
Mi_2 . . .	28 »	Si_2 . . .	38 »
Fa_2 . . .	28 »	Ut_3 . . .	45 »

Le son produit par un nombre de vibrations donné ayant produit un accroissement d'énergie (x force normale $+$ y excitation produite par ut_2), il a suffi de doubler le nombre des vibrations pour produire un accroissement d'énergie de 19 kilos. On voit que l'action des sons sur la tonicité des muscles est réellement considérable. Qui oserait nier que de pareilles modifications soient nettement conscientes ?

L'auteur a fait des mensurations pour déterminer l'influence des stimulations auditives sur l'énergie de l'effort soutenu aussi bien que sur la puissance de l'effort brusque.

Les stimulations visuelles comme les auditives ont un pouvoir dynamogène différent et dans l'effort brusque et dans l'effort soutenu, et selon que la lumière est diversement colorée. Ainsi sur un sujet dont la pression dynamométrique normale de la main droite est de 23 kilos,

(1) M. Féré, *op. cit.*, pp. 34 et suiv.

l'impression des rayons lumineux bleus porte cette pression à 24 kilos ;

les verts à 28 kil. ;	les orangés à 35 kil. ;
les jaunes à 30 » ;	les rouges à 42 » .

Cette influence dynamogène du rouge est donc bien nette et beaucoup plus intense qu'on ne le soupçonnerait. J'ai lu quelque part une confirmation très curieuse de cette action excitante de la couleur rouge sur l'espèce humaine. Il s'agissait, si je me rappelle bien, d'un atelier dans lequel des ouvrières travaillaient à la confection de plaques photographiques. L'atelier était éclairé par des fenêtres de couleur rouge. Or depuis longtemps les ouvrières qui y étaient occupées se signalaient par une irritation extraordinaire : ce n'était que disputes, cris, injures. Un jour quelqu'un s'avisa de remplacer les verres rouges des fenêtres par d'autres de couleur verte. Immédiatement le calme le plus complet régna dans l'atelier. Pareil résultat ne doit pas nous surprendre, si nous comparons les chiffres cités plus haut ; l'accroissement d'énergie musculaire produit par la lumière verte est de 5 kilos seulement pour une force initiale de 23 kilos, tandis que l'augmentation d'énergie est de 19 kilos lorsque le sujet est stimulé par des rayons lumineux rouges : 19 kilos comparés à la force normale de 23 kilos, celle-ci est presque doublée !

J'engage vivement le lecteur à prendre connaissance des autres résultats obtenus par le savant directeur de Bicêtre ; son livre est des plus intéressants. Une étude récente, dans laquelle le même auteur s'est inspiré de mes recherches sur l'homme droit et l'homme gauche, est remplie de données du même genre établissant les influences excitantes et déprimantes étudiées du côté gauche et du côté droit (1).

(1) ANNÉE PSYCHOLOGIQUE, volume VII.

Ces conclusions basées sur des mesures exactes ne sont que la confirmation scientifique d'idées courantes. Le poltron qui veut se donner du cœur demande à l'alcool une accélération de la circulation générale et, par suite, un relèvement de l'énergie musculaire. Qui de nous n'a entendu donner ce fâcheux conseil à ceux qui manquent d'appétit : « Si vous ne pouvez manger, buvez un bon verre de vin » ? Car nous avons nettement conscience de l'accroissement de forces musculaires produit par ce stimulant ; nous tenons naïvement l'effet produit pour équivalent à celui d'une alimentation réconfortante. Le vulgaire confond sans cesse *fortifiant* et *stimulant*, *excitant* et *nourrissant*. Ce n'est pas seulement le sens gustatif que nous stimulons pour éperonner notre énergie ; les excitants lumineux et auditifs, auditifs surtout, sont des remontants dont la valeur est reconnue depuis les temps les plus reculés. Les musiques militaires n'ont pas été inventées uniquement pour l'amusement des badauds et la joie des bonnes d'enfants. Elles ont, dès la plus haute antiquité, servi à la fois à réconforter les hommes et à régler leurs mouvements. C'est là un but très sérieusement poursuivi dans tous les pays, et chacun a pu observer que depuis un certain nombre d'années le coloris orchestral de ces musiques s'est sensiblement modifié. Quand j'étais enfant, les airs que jouaient les soldats étaient entraînants sans doute mais moins piquants que ceux d'à présent : les diverses sortes de trompettes avaient le rôle principal ; actuellement la clarinette, la flûte, le fifre, les triangles, les clochettes ont un rôle important, presque prépondérant, dans certaines musiques militaires du moins ; or les timbres de ces instruments stimulent les muscles beaucoup plus vivement que ceux de la trompette. Rappelons-nous le tableau de M. Féré : ut_2 donnant au dynamomètre 26 kilos et ut_3 45 kilos !

En résumé, toute sensation visuelle, auditive, gustative, etc. accroît la tonicité des muscles ; cette augmenta-

tion d'énergie est parfois tellement considérable qu'il nous est impossible de comprimer la force qu'elle éveille en nous, d'inhiber les mouvements qu'elle ébauche. Plus la sensation est intense, soit par le nombre de vibrations, soit par leur amplitude, soit par l'attention que nous y prêtons, plus intense aussi est l'accroissement d'énergie qu'elle provoque dans la musculature. L'art contemporain, surtout dans la littérature et en particulier dans la littérature française, se caractérise par le souci parfois maladif des images intenses, et les effets troublants de ces ébranlements sensoriels trop vifs ont un contre-coup indiscutable dans tout l'organisme, précisément par l'intermédiaire du sens musculaire. Il me semble que la lecture des auteurs classiques, des écrivains français du XVIIe siècle notamment, laisse dans l'âme un sentiment d'apaisement, presque de sérénité ; certaine musique classique produit un effet semblable, les symphonies de Mozart, de Haydn : on jouit avec la partie supérieure de son être, l'esprit s'anime sans que les sens soient troublés. C'est que dans un cas comme dans l'autre, littérature et musique, il n'y a ni heurts, ni stimulations trop vives. Les phrases se déroulent avec une harmonieuse régularité, on se croirait dans un de ces anciens salons de style aux canapés symétriquement disposés, aux longues files de sièges tous semblables alignés contre des tapisseries assorties, où toutes les parties de l'ameublement sont disposées pour faire valoir l'ensemble ; lieu choisi pour mener des entretiens polis sur des sujets élevés. Par contre, les descriptions de la nature nous apparaissent dans ces auteurs classiques d'une pauvreté, d'une fausseté qui nous fait sourire ; ils ont pourtant vu comme nous des montagnes, des forêts, des fleurs ! A coup sûr, ils ne les ont pas regardées ! Rien de plus caractéristique que le choix des qualificatifs qu'ils préfèrent : *gracieux*, *charmant*, *aimable*, termes vagues qui n'évoquent rien de sensible ; *affreux*, *horrible*, etc., se rapportent aux émo-

tions, mais où trouver chez eux le mot qui *peint*, le qualificatif pittoresque ? Je crois bien que le fameux « ces serpents qui sifflent sur vos têtes » a été considéré comme une hardiesse. Comparez à cette composition régulière, mais un peu grise, l'écriture artiste des maîtres contemporains ! Et, en musique, une symphonie de Haydn à la symphonie fantastique de Berlioz ! Le choix du qualificatif a été poussé de nos jours jusqu'à la minutie, jusqu'à l'exaspération ; certains, les Goncourt, par exemple, ont appliqué à choisir leurs images les délicatesses de leurs nerfs de peintres affinés par l'anémie, et je ne parle pas d'Edgar Poë, de Baudelaire et de leurs imitateurs aux nerfs franchement malades. Nous sommes loin de la modération pondérée des classiques ; mais par contre quelle vie, quelle vérité dans les descriptions, quel mouvement, quel admirable rendu de la vraie nature !

Plus les sensations visuelles, auditives, etc. sont vives et nettes, plus profondément elles ébranlent la musculature. Cette action directe sur la tonicité de l'ensemble des muscles se manifeste en outre plus spécialement sur un groupe défini, sur certains muscles déterminés : tels les muscles phonateurs. Comment apprenons-nous à parler ? — Par l'intermédiaire des images auditives. Cela est si vrai, que le sujet qui possède intacts tous les organes de la parole demeurera muet si et parce qu'il est sourd. Substituez chez lui aux images auditives absentes, d'autres représentations des mots (mouvements du larynx perçus par le toucher ou mouvements des lèvres vus dans un miroir), les muscles phonateurs pourront les reproduire, il apprendra, par imitation directe, à parler en faisant comme ceux qu'il voit ou qu'il touche.

Dans l'ordre naturel, nous apprenons à parler par tâtonnements. L'enfant entend parler sa mère et les personnes qui l'entourent, les sons produits frappent son oreille et, par contre-coup, l'ensemble de ses muscles, donc aussi ses muscles phonateurs. Les muscles stimulés

entrent en contraction, et, comme les autres, les phonateurs ; or les contractions vagues de ceux-ci produisent des sons ébauchés, indécis. Chacun peut observer ce caractère du premier parler. L'enfant entend ses propres mots, et en même temps ceux des autres ; en répétant il précise de plus en plus ses mouvements, finit par les produire exactement semblables à ceux qu'il entend émettre par les autres. Ici la sensation musculaire provoquée par l'audition des paroles prononcées a déterminé des mouvements que l'exercice a peu à peu précisés et renforcés. Ce ne sont pas seulement les images auditives verbales qui ont le privilège de provoquer dans certains muscles des mouvements déterminés ; les stimulations visuelles ou plus exactement visuelles motrices, celles qui portent sur les muscles des yeux et qui nous renseignent sur les formes et les mouvements des objets lumineux ou éclairés, ces stimulations visuelles motrices, dis-je, provoquent également, outre un accroissement de tonicité générale, des contractions déterminées de certains groupes de muscles. Et ici l'action n'est pas limitée à un groupe connu toujours le même, mais elle se porte tantôt sur tel groupe tantôt sur tel autre. Lorsque nous regardons une personne faisant des mouvements et plus particulièrement des gestes expressifs comme ceux d'un acteur sur la scène, inconsciemment nous imitons, nous reproduisons en plus faible ces mouvements et ces gestes. Je connais une personne qui ne peut voir à la rue quelqu'un faire un faux pas, sans en faire un également. Cette imitation inconsciente des contractions musculaires d'autrui est surtout fréquente chez les sujets très nerveux. « L'histoire des épidémies spasmodiques, dit M. Ch. Féré (1), nous montre que chez les névropathes, plus sensibles d'une manière générale à tous les agents excitants ou dépressifs, la seule vue d'un mouvement provoque l'exécution de ce

(1) M. Ch Féré, *op. cit.*, p. 13.

mouvement. Ce phénomène, que l'on pourrait désigner sous le nom d'*induction psycho-motrice*, peut se montrer à l'état sporadique, comme M. Ch. Richet en a signalé un exemple. Si, prenant un sujet de ce genre, nous le prions de regarder avec attention les mouvements de flexion que nous faisons avec notre main, au bout de quelques minutes il déclare qu'il a la sensation que le même mouvement se fait dans sa propre main, bien qu'elle soit complètement immobile ; et au bout de quelques instants, en effet, sa main commence à exécuter irrésistiblement des mouvements rythmiques de flexion. L'induction psycho-motrice joue un rôle considérable dans la contagion des émotions et des sentiments. La vue d'un mouvement invite, disons-nous, à la reproduction de ce mouvement ; or les expressions de la physionomie, qui traduisent les émotions, sont susceptibles de se reproduire de la même manière, en dehors de tout état de conscience. D'autre part, c'est un point mis en lumière par Braid, par MM. Charcot et Richet, etc. que l'attitude et l'expression suggèrent l'idée ou l'émotion correspondante. Si on peut lire sur son visage la pensée de son interlocuteur, c'est qu'en le regardant on prend inconsciemment son expression, et l'idée se présente en conséquence ; la lecture directe ne se fait que lorsque l'expression est forcée. On a cité un diplomate qui avait l'habitude d'imiter la mimique des gens qu'il voulait deviner. »

Spécialement impressionné dans les muscles expressifs et phonateurs, ébranlé par les stimulations de tous les sens externes, le sixième sens traduit encore les modifications profondes de l'organisme, les modifications des sens internes. Les stimulations provenant des viscères sont généralement considérées comme inconscientes dans l'état de santé chez l'homme normal. On dit communément : « quand vous sentez que vous digérez, c'est un signe que la digestion est défectueuse », et l'on a raison. Les impressions sensitives provenant des viscères ne sont point per-

çues à l'état normal : ni le chaud, ni le froid, ni la douleur, ni la compression des muqueuses de l'estomac et de l'intestin, par exemple, ne déterminent des sensations conscientes ; un liquide brûlant, avalé hâtivement, fait sentir son passage dans la bouche, dans la gorge, dans une partie de l'œsophage, mais plus dans l'estomac si, bien entendu, celui-ci est absolument sain. Mais, de ce que les stimulations de ces fibres sensitives ne donnent pas de sensations définies et nettement perçues, il ne faudrait pas conclure qu'elles n'en donnent pas du tout ; c'est une idée par trop simpliste que celle qui consiste à n'admettre que des sensations ou bien perçues ou tout à fait négligeables ; il y a toute une série de dégradations successives entre le conscient et l'inconscient ; ce domaine, appelé subconscient, est chez certaines personnes plus étendu que chez d'autres, cela dépend de la finesse du système nerveux. Ces sensations subconscientes, non distinctement perçues au cerveau, retentissent dans le sens musculaire qui modifié sans cesse envoie, lui, ses stimulations propres au cerveau : « se sentir alerte » qu'est-ce sinon avoir la perception de l'état de souplesse et de vitalité de ses muscles, et cette sensation musculaire elle-même ne résulte-t-elle pas bien souvent du sentiment vague de bonne santé, d'intégrité des principales fonctions organiques ? Le sixième sens recueille toutes les stimulations quelconques internes et externes qui affectent l'organisme, celles qui montent de la profondeur des viscères comme celles qui mettent en branle les parties les plus délicates des organes sensoriels, et de cet ensemble d'impressions si variées et si multiples résultent des contractions plus ou moins profondes depuis le simple accroissement de tonicité jusqu'aux mouvements les plus expressifs. Parfois le courant sensitif est tellement intense qu'il se convertit presque malgré nous en trépignements, en applaudissements, en cris ; le sixième sens est vraiment le sens qui parle. Le langage ne serait-il pas une forme

spéciale la plus élevée et la plus précise de la gesticulation ?

Les organes des sens sont loin d'être parfaits dès le début de la naissance ; il s'en faut de beaucoup. Le nouveau-né ne voit pas avant un certain temps la direction du jour, l'oreille du jeune enfant est loin d'avoir la finesse de la nôtre, il faut toute une éducation pour affiner ces organes. Les enfants recherchent les couleurs criardes et les bruits assourdissants, naturellement, pour entraîner leurs organes. Le sens musculaire, lui, est développé dès avant la naissance et son éducation commencée de bonne heure est longue et minutieuse. Le bébé s'amuse semble-t-il, à prendre ses petits pieds dans ses petites mains, il essaie de mettre en bouche son gros orteil, il s'entraîne ; et, s'il est naturellement adroit, énergique et intelligent, la précision relative, la netteté de ses premiers mouvements le témoignent. Qu'est-ce, en effet, que l'adresse sinon une bonne mémoire musculaire (1) ? L'énergie n'est-elle pas naturelle chez un être plein d'effluves moteurs ? et enfin, puisque le degré de finesse de notre intelligence dépend à coup sûr de la délicatesse de nos perceptions, de l'acuité de nos organes sensoriels, peut-on douter que la finesse du sixième sens, du sens commun, ait une influence notable sur la finesse de l'intelligence ? Pour s'en convaincre et constater les effets d'un sens musculaire obtus, il suffit de visiter un asile d'arriérés.

J. J. Van Biervliet.

(1) Ribot.

LES

SYSTÈMES STELLAIRES

On prête à Lagrange cette réflexion découragée : « Newton est bien heureux d'avoir trouvé un monde à expliquer. Malheureusement il n'y a qu'un ciel ! » — Il n'y a qu'un ciel, mais il est assez vaste pour confondre toutes les ambitions. Les efforts tentés jusqu'ici pour en sonder les profondeurs n'ont abouti qu'à en reculer les frontières et à multiplier à l'infini les mondes qu'il renferme.

Les étoiles que nous voyons briller au firmament et toutes celles que le télescope nous y fait découvrir sont des soleils comme le nôtre, dont la lumière et la chaleur, la constitution physique et chimique, la genèse et l'évolution, les distances, les mouvements propres, la distribution dans l'espace offrent un mélange abondant de tous les problèmes de toutes les sciences.

D'un grand nombre de ces étoiles nous savons qu'elles sont des systèmes stellaires dont l'étude exige le perfectionnement incessant des méthodes d'observation et de calcul, et promet de longs siècles encore de découvertes et de progrès.

Jetés à profusion dans toutes les régions de l'espace, des amas de matières cosmiques, appelés nébuleuses, sont peut-être d'autres soleils, d'autres mondes en voie de formation, mine inépuisable de recherches cosmogoniques

dont des études récentes sur l'évolution des masses fluides en rotation nous permettent à peine de soupçonner l'extrême variété.

L'ensemble de tous ces mondes, jeunes et vieux, mourants ou à naître, forment peut-être un tout dont l'ordonnance nous échappe et dont les révolutions séculaires obéissent à des lois qui nous sont inconnues.

Non, il n'y a pas à craindre que de ces abîmes insondables cessent jamais de jaillir plus de problèmes que les astronomes, les géomètres et les physiciens de l'avenir ne pourront en résoudre. Quels que soient les succès qui consacreront leurs travaux, toujours ils pourront redire à ceux qui viendront après eux exploiter ce trésor : « Ce que nous savons est peu de chose auprès de ce qu'il reste à découvrir. »

Un des chapitres de cette science inépuisable est consacré aux *systèmes stellaires*. Toutes les ressources de l'observation, armée des instruments les plus puissants et les plus précis, concourent à en rassembler les éléments ; pour les mettre en œuvre, l'analyse et la géométrie, la mécanique et la physique unissent leurs efforts. Après deux siècles d'incessants labeurs, la tâche est à peine ébauchée, mais les premiers résultats sont pleins d'intérêt et riches de promesses. Nous nous proposons de les résumer en insistant sur le travail qu'ils ont coûté et sur les perspectives qu'ils ouvrent aux recherches spéculatives sur la structure des mondes et les lois qui président à leur évolution.

Pour mettre de l'ordre dans cet exposé, nous adopterons une division tout artificielle, mais qui sied à notre but. Nous l'empruntons aux moyens auxquels on a recours pour découvrir et étudier les systèmes stellaires : l'observation télescopique et les mesures micrométriques ; l'emploi du spectroscope et les recherches photométriques. Nous nous occuperons, dans cet article, des systèmes

stellaires *télescopiques* ; nous en consacrerons un second aux systèmes stellaires *spectroscopiques* et *photométriques* (1).

I

SYSTÈMES STELLAIRES TÉLESCOPIQUES

Historique

Quand deux étoiles paraissent dans le ciel très voisines l'une de l'autre, elles forment ce que l'on appelle en général une *étoile double*. Ce rapprochement peut n'être qu'apparent : les deux étoiles sont en réalité à des distances très inégales, et ce sont les hasards de la perspective qui nous les font voir dans des directions très rapprochées. On dit alors que l'on a affaire à une *étoile double optique*. D'autres fois le voisinage est réel, et les deux étoiles enchaînées l'une à l'autre par leur action mutuelle, comme la Terre au Soleil, forment une *double physique* ou un *système binaire*.

La dénomination d'*étoile double* se rencontre, pour la première fois sans doute, dans Ptolémée. Voici comment l'illustre auteur de l'*Almageste* décrit l'une des étoiles de la constellation du Sagittaire : « Ὁ ἐπὶ τοῦ ὀφθαλμοῦ νεφελοειδὴς καὶ διπλοῦς, celle qui est sur l'œil, nébuleuse et *double* ». Il s'agit ici d'une *double optique*, au sens large du mot. Dans nos catalogues modernes, ces deux étoiles, de cinquième grandeur, s'appellent ν et ν_1 du Sagittaire. Pour pénétrer dans le domaine des systèmes stellaires, il fallait attendre l'invention de la lunette.

(1) Nous avons pris pour guide l'excellent *Traité d'Astronomie stellaire* de M. Ch. André, deux volumes, Paris, Gauthier-Villars, 1899 et 1900; le texte nous a fourni un bon nombre des renseignements que nous avons utilisés, et les indications bibliographiques ont souvent dirigé nos lectures.

La première étoile binaire qu'elle nous révéla fut probablement ζ de la Grande-Ourse, Mizar, dont le P. Riccioli sépara les composantes en 1650 ; mais il ne vit là qu'un excellent objet d'épreuve pour les astronomes.

Huygens observant, en 1656, la grande nébuleuse d'Orion qu'il venait de découvrir, remarqua le système quadruple θ qui s'y trouve plongé : « Portentum cui certe simile aliud nusquam apud reliquas fixas potuit animadverti », dit-il, dans son *Systema Saturnium*. Ce fut cette merveille qui eut l'honneur de la première observation que fit W. Herschel avec son télescope de quarante pieds.

Huit ans plus tard, en 1664, Hooke suivait, dans sa marche sur la sphère, la comète qui venait de s'y montrer, quand, l'observant un soir dans le voisinage de γ du Bélier, il constata que cette étoile « était formée de deux petites étoiles très voisines l'une de l'autre ». Je sais, ajoute-t-il, que le télescope peut dédoubler certaines étoiles qui nous paraissent simples, à l'œil nu, parce que leurs images, projetées sur un même filament de la rétine, se fusionnent dans l'impression transmise au cerveau ; mais le plus bel exemple qu'on puisse en donner est bien celui que je viens de découvrir : « a like instance to which I have not else met with in all the heaven ».

Bradley et Pond dédoublèrent γ de la Vierge en 1718 ; Cassini et Messier observèrent, en 1720, l'occultation par la Lune de chacune des composantes. C'est à Bradley encore que l'on doit le premier dédoublement de deux autres étoiles célèbres, Castor et la 61e du Cygne. « C'est le plus élégant système binaire de notre hémisphère, dit J. Herschel en parlant de Castor, et celui dont le mouvement angulaire indiscutable fit naître dans l'esprit de mon père la conviction absolue de la vérité de ses vues, si longtemps caressées, sur l'existence des doubles physiques. » Quant à la 61e du Cygne, on sait que sa parallaxe fut la première que nous ait donnée l'héliomètre manié par Bessel.

Nous pourrions poursuivre, sans grand intérêt, l'histoire de ces découvertes sporadiques d'étoiles doubles, faites au cours des trois premiers quarts du XVIIIe siècle ; la liste s'allongerait d'une vingtaine de noms ; et, après avoir cité l'auteur de ces découvertes, il nous faudrait redire, pour chacune d'elles, qu'elle fut faite au hasard des circonstances : soit, comme celle de Hooke, en suivant la marche d'une comète à travers les constellations ; soit, comme celle de Cassini et Messier, en observant une occultation.

C'est au Jésuite Christian Mayer (1719-1783), astronome de l'Électeur palatin, que l'on doit les premières recherches intentionnelles et systématiques dans cette voie. Elles furent inaugurées à l'Observatoire de Schwetzingen, continuées à celui de Mannheim, et poursuivies longtemps avec la conviction profonde de l'existence, dans l'espace, de systèmes stellaires comparables à notre monde planétaire. Le zèle que déploya C. Mayer à défendre cette intuition hardie lui en fit exagérer la portée. Les désignations insolites d'*étoiles satellites*, d'*astres compagnons*, *comes* — noms qu'il emprunte, dit-il, à Flamsteed — sonnaient mal aux oreilles de ses contemporains et heurtaient des préjugés que le temps seul, en accumulant les observations, pouvait dissiper. C. Mayer les aggrava en poussant l'application de ses idées bien au delà des limites de la vraisemblance. L'application qu'il crut pouvoir en faire à des étoiles qu'il rattachait à Arcturus, quoiqu'elles en fussent éloignées de 2 et 3 degrés, l'exposa à la critique victorieuse et aux railleries faciles. « On rejeta ses idées systématiques, dit Humboldt ; on se crut même en droit de rejeter ses observations. Il disait pourtant, en propres termes, dans sa réponse aux critiques du P. Maximilien Hell, directeur de l'Observatoire impérial de Vienne : ou bien les petites étoiles qui sont placées si près des grandes sont sans lumière propre et simplement

éclairées comme les planètes, ou bien *l'étoile centrale et son satellite sont deux soleils brillant de leur propre éclat, qui tournent l'un autour de l'autre.* » Les successeurs de C. Mayer, instruits par leurs propres observations, se sont empressés de lui rendre justice. S'ils font le départ du vrai et du faux dans ses vues théoriques, ils proclament bien haut la valeur très réelle de ses observations. Les suffrages de W. Herschel et de W. Struve suffisent à la garantir ; quelques lignes copiées d'une des publications de l'astronome de Mannheim, en montreront le mode et la délicatesse. Voici cet extrait :

	MAGN.	DIFFERENTIA IN A. R.	DIFFERENTIA DECLINATIONIS	DISTANTIA
γ Andromedæ	2.6	0sec.,95	5″,8	15″,2
Castor	1,6	0,7	3,8	11,0
ζ Cancri	7,8	0,0	7,7	7,7
γ Virginis	3,5	0,5	6,3	9,9
α Herculis	5,7	0,53	4,0	8,9
ε Lyræ	6,8	0,2	3,0	4,2
β Cygni	3,7	2,06	19,9	36,6

Les *distances* n'étaient pas mesurées directement, mais déduites, par le calcul, des différences d'ascension droite et de déclinaison.

En résumé, parmi les couples que C. Mayer décrit, 72 sont nouveaux ; 67 rentrent dans la définition actuelle des étoiles doubles, et plusieurs parmi eux sont à la limite que pouvaient atteindre, entre les mains d'un observateur habile. les instruments de dimensions moyennes et de qualités médiocres dont il disposait.

Mais ces consciencieux efforts d'un serviteur utile de la science et leurs précieux résultats disparaissent devant le prodigieux labeur et les merveilleuses conquêtes qu'inaugurait, quelques années avant la mort de C. Mayer, W. Herschel. Sans méconnaître ni amoindrir le mérite de ses prédécesseurs, il faut, pour être juste, dater de

ses travaux les origines et les plus brillants progrès de l'astronomie stellaire.

C'est en 1779 que son attention se porta vers les étoiles doubles, mais dans un but bien différent de celui que poursuivait C. Mayer.

Dans l'hypothèse de Copernic, la révolution de la Terre autour du Soleil, transportée aux étoiles, devrait nous les montrer décrivant, en un an, autour de leur position moyenne, des orbites elliptiques égales, en vraie grandeur, aux projections de l'orbite terrestre sur les plans tangents à la sphère céleste normaux à la ligne de visée, mais vues de la Terre sous l'angle très petit sous lequel, de ces étoiles, on verrait cette orbite. Lire ainsi, dans les changements périodiques de position des étoiles, la confirmation de l'hypothèse copernicienne, dans une de ses conséquences nécessaires ; trouver, si l'observation s'y prêtait, dans la mesure de la *parallaxe annuelle* des fixes (1) d'utiles renseignements sur les dimensions de l'univers, tel était le grand problème qui préoccupait, depuis deux siècles, adversaires et partisans du mouvement annuel de la Terre autour du Soleil. Cette révolution, disaient ceux-ci, nous transporte, en six mois, aux deux extrémités de l'orbite terrestre. La différence des temps suppléant ici à la distance, nous pouvons prendre pour base le diamètre de cette orbite et déterminer, à six mois d'intervalle, les directions d'une même étoile relatives à un repère fixe convenablement choisi. Le changement démontrera que nous nous sommes réellement déplacés, et sa mesure nous fera connaître l'angle sous lequel de l'étoile observée on verrait ce déplacement.

Rien de plus facile, en théorie, que de mesurer cet angle ; les difficultés sont toutes d'exécution, mais elles sont considérables. La première idée qui se présenta fut

(1) La *parallaxe annuelle* d'une étoile est l'angle sous lequel de cette étoile on verrait le demi-grand axe de l'orbite terrestre.

de choisir l'horizon pour repère et de prendre les hauteurs d'une même étoile à six mois d'intervalle. Tycho Brahe l'essaya sans succès sur la polaire. Riccioli échoua sur Sirius. Vingt autres ne furent pas plus heureux.

L'insuccès ne prouvait rien contre Copernic ; on eut soin d'en faire la remarque : pour l'expliquer, il suffisait d'admettre que les dimensions de l'univers dépassaient ce qu'on avait rêvé ; et qui pouvait y contredire ? L'angle à mesurer échappait aux moyens dont on disposait pour en dégager, des erreurs inévitables, l'extrême petitesse ; pour y réussir, il fallait attendre les progrès futurs des méthodes d'observation.

Déjà Galilée avait pressenti, avec une admirable sagacité, la voie qui devait conduire au but : il fallait, pensait-il, renoncer aux mesures absolues pour suivre les déplacements relatifs de deux étoiles d'éclat différent et très voisines sur la sphère (1). Il manquait à l'énoncé de cette idée excellente l'indication des conditions pratiques essentielles au succès de son application.

Les premiers observateurs n'y prirent point garde. Hooke, Flamsteed, Molineux, Bradley, Long s'engagèrent dans cette voie et la crurent sans issue. C'est ici qu'intervient W. Herschel.

Il précise d'abord la méthode : on mesurera, à six mois de date, l'angle de position et la distance sur la sphère de deux étoiles *très voisines* en apparence, mais de *grandeurs très inégales*.

Puis il justifie cet énoncé. Après avoir insisté sur la supériorité des *mesures micrométriques* dans ce genre de recherches, il montre qu'elles fixeront les positions rela-

(1) Galilée, *Du Système du Monde*, Dial. 3 : « Neque enim credo stellas esse dispersas in sphærica superficie, distante æqualiter a centro : sed existimo distantias earum a nobis adeo varias esse, ut aliæ aliis bis terve remotiores esse queant. Quare si quando telescopio inveniretur aliqua minima stella majori alicui vicinissima, et illa tamen esset altissima, posset accidere ut sensibilis aliqua mutatio inter eas succederet, mutationi superiorum planetarum respondens. »

tives des deux étoiles avec une précision d'autant plus grande que leur distance angulaire sera plus petite. Une seule incertitude subsistera, dépendant de l'appareil micrométrique dont on pourra d'ailleurs étudier à loisir le fonctionnement. Quant aux corrections que la réfraction, la précession, la nutation imposent aux mesures des positions absolues, elles se feront d'elles-mêmes dans les résultats différentiels.

Mais que pourrons-nous tirer, en toute rigueur, de la mesure des changements intervenus, au cours de l'année, dans la position relative de ces deux étoiles très voisines? — Une seule chose : la *différence de leurs parallaxes*. Pour en conclure la *parallaxe absolue de l'une d'entre elles*, il faudrait que l'on sût la parallaxe de sa compagne nulle ou relativement insensible. Il ne suffit donc pas au succès de la méthode que les deux étoiles soient *très voisines sur la sphère*, il faut encore qu'elles soient *très éloignées l'une de l'autre dans l'espace* et, par suite, à des distances très inégales de l'observateur. Voilà pourquoi on les choisira de *grandeurs très différentes* : un moindre éclat nous donnant, sinon l'assurance, du moins l'indication probable d'un éloignement plus considérable. On le supposera si grand pour l'étoile la plus faible du couple choisi, que la translation de l'observateur terrestre soit pour elle sans influence sensible sur la direction du rayon visuel qui nous la fait voir : elle jouera donc le rôle de repère fixe, et on attribuera dès lors au rapprochement de la plus brillante les changements observés dans leur position relative.

Encore devra-t-on disposer d'un choix considérable de couples appropriés. Rien, en effet, ne s'oppose à la rencontre, dans un cas particulier, d'un éclat plus faible et d'un moindre éloignement ; ce n'est qu'en multipliant les épreuves que l'on pourra éliminer ces exceptions et bénéficier de la loi qui rejette plus loin les astres plus faibles.

C'est pour préparer l'application de cette méthode dans

de bonnes conditions, que W. Herschel entreprit la *revision du ciel étoilé*. « J'ai résolu, écrit-il, d'examiner chacune des étoiles du ciel avec la plus grande attention et en recourant aux plus forts grossissements. Mon but est de réunir, en vue de la recherche des parallaxes stellaires, les matériaux nécessaires et les plus propres à fixer le choix des observations les plus convenables. Le champ est si vaste et promet une si riche moisson à ceux qui le cultiveront avec ardeur, que je n'hésite pas à inviter tous les fervents de l'astronomie à se joindre à moi pour mener à bien un travail qui ne peut manquer d'aboutir à d'importantes découvertes. »

Le résultat de ces laborieuses recherches fournit la matière de deux catalogues dans lesquels W. Herschel donne le nom d'*étoiles doubles* aux couples d'étoiles voisines sur la sphère qu'il a étudiés. « J'ai choisi, dit-il, cette dénomination de préférence à celle de *comes*, compagnon ou satellite, parce que je ne crois pas le moment venu d'envisager la théorie du mouvement des petites étoiles autour des grandes ; dès lors, il importe d'éviter avec soin toute expression qui en introduirait l'idée. »

W. Herschel partage les 269 étoiles doubles qu'il a observées en six classes. La première comprend celles dont le dédoublement exige un télescope très puissant et des conditions atmosphériques excellentes. Il place dans la seconde les groupes moins serrés, mais qui se prêtent encore à des mesures micrométriques très délicates. Les quatre autres classes renferment ceux dont les distances sont comprises respectivement entre 5″ et 15″, 15″ et 30″, 30″ et 1′, 1′ et 2′. De ces 269 étoiles doubles, 227 sont nouvelles ; 9 étaient connues avant C. Mayer ; les 33 autres appartiennent, pour la plupart, à ce dernier. Enfin W. Herschel rejette, comme impropres à la détermination des parallaxes, tout couple dont la distance des composantes dépasse 15″ et c'est sur ceux où un écartement très

petit s'associe à une grande différence d'éclat qu'il porte surtout ses efforts.

Il put craindre un instant qu'ils resteraient infructueux. Mais sur le terrain de l'astronomie, remué par une telle main, toute parcelle est féconde et nul effort ne reste stérile. « Il m'arriva, écrit-il plus tard, ce qu'il advint à Saül qui cherchait les ânesses de son père et trouva un royaume. » W. Herschel cherchait une oscillation annuelle dans la position relative des deux étoiles, et il trouva un changement progressif et régulier qui trahissait la lente circulation d'une de ces étoiles autour de sa voisine. Prenant alors pour base d'une discussion minutieuse ses observations répétées de Castor, γ du Lion, ε du Bouvier, ζ d'Hercule, δ du Serpent et γ de la Vierge, il en fit jaillir cette grande découverte : « Parmi les étoiles doubles, il en est beaucoup qui ne le sont pas seulement en apparence, mais qui forment un système de deux astres intimement rattachés entre eux par le lien de leur attraction mutuelle. » Il conjecture que l'orbite apparente décrite par l'étoile satellite autour de l'étoile principale, supposée fixe, est une ellipse, et il assigne une valeur approchée à la durée de révolution de cinq d'entre ces systèmes : elle mesurerait, pour Castor, 342 de nos années solaires ; γ du Lion exigerait pour parfaire la sienne 1200 ans, ε du Bouvier 1681, δ du Serpent 375 et γ de la Vierge 708. Quant à ζ d'Hercule qu'il avait dédoublé en juillet 1782, il constatait, en octobre 1795, le contact et bientôt la fusion des deux composantes. « Mes observations de cette étoile, dit-il, nous montrent un phénomène nouveau en astronomie : *l'occultation d'une étoile par une autre*. Ce fait est de tout point remarquable, qu'il faille en attribuer la cause à la parallaxe, ou au mouvement propre, ou à la circulation sur une orbite dont le plan serait à peu près parallèle à la direction du rayon visuel. »

Si l'immense travail qu'Herschel s'était imposé n'aboutit pas à la solution du problème des parallaxes qu'il

poursuivait, il y contribua du moins par une indication très utile : en choisissant, pour les soumettre aux mesures micrométriques, un couple d'étoiles *très serré*, on s'exposerait à rencontrer une *double physique* dont la parallaxe relative des deux composantes serait insensible. Il faut donc faire porter son choix sur des étoiles voisines, sans doute, sur la sphère, mais assez distantes cependant pour qu'on ait certainement affaire à deux astres étrangers l'un à l'autre. C'est ce que firent bientôt après F. G. W. Struve, qui choisit, pour en mesurer la parallaxe, α de la Lyre comparée à une étoile de grandeur 10,5 distante de 43″, et Bessel dans son célèbre travail sur la 61e du Cygne : ici les étoiles de comparaison étaient distantes de 7′,7 et 11′,8. W. Herschel leur laissa l'honneur de résoudre le problème des parallaxes ; il garda la gloire d'avoir démontré l'existence des systèmes stellaires. Ce n'était pas un royaume, mais des milliers de mondes nouveaux que cette merveilleuse découverte livrait aux astronomes. S'ils tardèrent quelque temps à y entrer, c'est que bien peu disposaient alors d'instruments comparables à ceux qui avaient conduit W. Herschel à leur conquête.

John Herschel, le premier, s'engagea sur les pas de son père. Dès 1816, et de concert avec sir James Smith, il entreprit la revision et l'extension des observations faites jusque-là. Il poursuivit ses recherches durant plusieurs années et les étendit au ciel austral pendant son séjour au Cap de Bonne-Espérance. Aux nombreuses mesures dont il enrichit les Mémoires de la Société royale astronomique de Londres, il ajouta l'invention d'une méthode pour le calcul des orbites stellaires, dont il fit les premières applications.

Vers le même temps, W. Struve entrait dans la carrière à l'Observatoire de Dorpat. Son travail, entravé au début par l'insuffisance des instruments, devint prodigieux dès qu'il disposa de l'excellent cercle d'Ertel (1821) et

surtout du célèbre équatorial de Fraunhofer (1824). C'est alors qu'il entreprit, avec la collaboration de ses assistants, la revue du ciel, du pôle à 15° de déclinaison sud, dans le but d'y découvrir les étoiles doubles et d'en dresser un catalogue général. Cette gigantesque entreprise, poursuivie avec une ardeur inlassable pendant dix ans, nous valut la publication, en 1835, du mémorable ouvrage *Mensuræ micrometricæ stellarum duplicium et multiplicium*. Les méthodes d'observation y étaient perfectionnées et les mesures portaient sur 3134 étoiles multiples.

En 1834, W. Struve quittait Dorpat pour prendre la direction de l'Observatoire de Poulkova, récemment fondé. Il y apporta le feu sacré et l'enthousiasme des recherches délicates. Les étoiles doubles ne furent pas négligées. Otto Struve, qui succéda à son père dans la direction de l'Observatoire, en 1861, leur consacra une large part de ses travaux.

Il est impossible de résumer, à partir de cette époque, l'histoire de ce chapitre de l'astronomie stellaire. Les observateurs surgissent de toute part et rivalisent de zèle. Entre tant de travaux le choix est malaisé et condamne à en passer d'excellents sous silence. A la tête de ces infatigables chasseurs d'étoiles il faut citer l'amiral W. H. Smyth qui mesura 700 couples, de 1830 à 1843, et donna les résultats de ses observations dans deux ouvrages justement estimés : *Cycle of Celestial Objects* (1844), et *Speculum Hartwellianum* publié en 1862 ; Mädler, qui utilisa, pour des recherches du même genre, le réfracteur de Dorpat, de 1843 à 1847, et publia ses mesures dans les Astronomische Nachrichten (vol. XII à XXXII, passim) et dans son célèbre ouvrage *Untersuchungen über die Fixtern-Systeme* (1847) ; Dawes, dont les observations échelonnées de 1830 à 1868 ont été publiées par la Société royale astronomique et dans son grand catalogue de 1867 ; Dembowski, auquel on doit plus de 20 000 observations,

de 1852 à 1878, publiées en partie dans les Astronomische Nachrichten (vol. XIII à LXXXI, passim), recueillies après sa mort par O. Struve et Schiaparelli, et éditées dans les Mémoires de l'Académie des Lincei. Citons encore lord Wrottesley, en Angleterre (1843-1860) ; Powell et Jacob, à Madras (1853-1862) ; le P. Secchi, à Rome (1856-1866) ; R. Main, à l'Observatoire de Radcliffe ; Düner, à celui de Lund ; O. Stone, à Cincinnati ; W. Doberck, à l'Observatoire Markree ; Pritchard, Plummer et Jenkins au nouvel Observatoire d'Oxford ;... enfin, parmi les observateurs actuels, MM. Burnham et See, qui travaillent avec un égal succès à la mise en œuvre des matériaux amassés jusqu'ici, et s'attachent, par surcroît, à achever la moisson, le premier dans l'hémisphère boréal surtout, le second dans l'hémisphère austral. Le nombre des couples nouveaux découverts par M. Burnham dépasse aujourd'hui le millier ; il atteint de six à sept cents pour M. See qui n'est entré en campagne qu'en 1896.

L'abondance nuit parfois ; elle est ici infiniment précieuse. En se multipliant, les observations sont devenues plus précises ; elles portent sur des couples de plus en plus serrés, à révolution moins lente, se prêtant mieux au contrôle du calcul de leurs orbites. En même temps, ce travail d'élaboration, devenu plus intense, a provoqué l'invention de méthodes graphiques ou analytiques plus précises, et met à profit d'autres progrès, notamment la connaissance des parallaxes d'un certain nombre d'étoiles doubles, pour pénétrer plus intimement dans la structure de ces mondes lointains et fournir aux recherches spéculatives, sur leur genèse et leur évolution, de précieuses données.

Mais tout ce que nous a montré ce rapide coup d'œil historique ne donne qu'une idée très imparfaite de ce qu'ont coûté ces premières conquêtes. Que de veilles laborieuses, que de fastidieux calculs elles supposent ! Comme un avare qui enfouit jalousement ses trésors, la nature semble par-

fois nous cacher ses merveilles ; mais elle souffre violence et se livre volontiers au travail acharné. Voyons-le aux prises avec elle.

Observations

Les premiers observateurs des étoiles doubles — C. Mayer nous en a fourni l'exemple — mesuraient l'ascension droite et la déclinaison des deux composantes et en concluaient leur distance. W. Herschel, en inaugurant les mesures micrométriques différentielles, J. Herschel et W. Struve, en en perfectionnant l'emploi, ont fixé le procédé généralement en usage aujourd'hui dans l'étude des systèmes stellaires. Il consiste à déterminer la position des deux étoiles du couple par leurs coordonnées polaires relatives qui prennent le nom de *distance* et d'*angle de position*. La figure 1, qui représente le champ renversé de la lunette, suppléera à de longues explications.

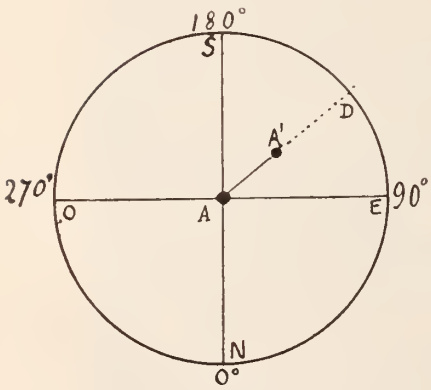


Fig. 1.

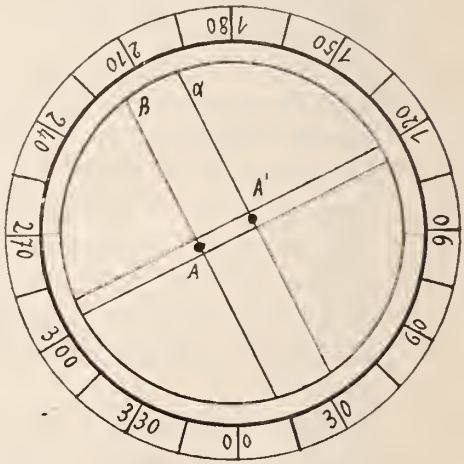


Fig. 2.

Deux points, A et A', figurent les deux étoiles ; la droite NS marque la direction du cercle horaire ; AA' est

la *distance* et NAA' l'*angle de position* de l'étoile satellite, compté à partir de SN, de 0° à 360°, en allant du nord N vers l'est E.

Ces mesures se font le plus souvent à l'aide d'un micromètre spécial (fig. 2) à deux fils mobiles indépendants, α et β, conduits chacun par une vis micrométrique. Il se fixe à l'extrémité oculaire d'un équatorial et est muni d'un *cercle gradué* sur lequel on lit les angles de rotation du micromètre autour de l'axe optique de la lunette. On utilise cette rotation et les lectures de ce cercle pour mesurer l'*angle de position* ; on recourt au déplacement des fils mobiles, parallèlement à eux-mêmes, pour mesurer la *distance* AA' en fonction du pas des vis micrométriques qui commandent ces mouvements et dont on connaît la valeur en secondes d'arc.

Toute description technique des procédés d'observation serait ici déplacée. La manœuvre se devine ; elle semble même très simple. Il en est ainsi en théorie ; mais en pratique, rien de plus délicat.

Sans entrer au détail des difficultés à vaincre, bornons-nous à remarquer que la lenteur des déplacements angulaires et l'exiguïté des distances donnent ici aux fractions de seconde une importance considérable. Il faut, pour chaque mesure d'angle et de distance, s'y reprendre à plusieurs fois, afin de pouvoir tantôt, par d'habiles combinaisons des résultats immédiats de l'observation, les débarrasser des *erreurs accidentelles* qu'entraînent l'orientation défectueuse du micromètre, la coïncidence imparfaite de ses fils et des disques lumineux tremblotants, images des étoiles, la lecture inexacte des verniers,... toutes choses inévitables même au coup d'œil le mieux exercé et au doigté le plus délicat.

Mais il y a bien pis que cela : ce sont les *erreurs systématiques* qui se répètent sans changer de sens dans les épreuves successives et que l'éponge de la théorie des moyennes ne saurait effacer. Or elles peuvent atteindre,

dans ce genre de mesures, des valeurs considérables. L'observateur, les circonstances, l'instrument lui-même concourent à en multiplier l'occasion.

L'observateur cherche à éliminer celles qui lui reviennent, en étudiant son *équation personnelle*. Pour cela, il mesurera, par exemple, les angles de position et les distances d'étoiles doubles *artificielles*, formées par de petits disques blancs sur fond noir placés à l'horizon à la distance de 2 à 3 kilomètres : la comparaison des mesures à la réalité, connue ici par la disposition même des appareils, le renseignera sur le signe et la grandeur des écarts systématiques provenant de sa manière d'observer, de la position de la tête et de la ligne des yeux, etc. Mais il y a loin de ces expériences aux observations qu'elles préparent, où le trouble et l'agitation des images, la hauteur du couple sur l'horizon, l'éclat relatif des composantes, le contraste de leurs couleurs... introduisent mille causes d'erreur, sans compter celles qu'y ajoute l'instrument, et particulièrement son objectif comme l'a fait voir M. Bigourdan en étudiant l'influence, sur les pointés, de la discontinuité des anneaux de diffraction dont s'entourent les images.

Toutes ces difficultés vaincues dans la mesure du possible, il en surgit d'autres dès qu'on entreprend le rapprochement et la mise en commun d'observations de sources et d'époques différentes. Le ciel, en effet, n'est pas immuable : les repères n'y sont fixes que par convention ; en réalité, le temps les emporte dans de lentes révolutions qui obligent à retoucher, ligne par ligne, les précieuses archives du travail journalier des observateurs. Aux corrections succéderont donc les *réductions*, qui prépareront les essais répétés d'interpolations habiles, où la sagacité et la patience trouveront longtemps à s'exercer avant que les lacunes béantes soient comblées et que toutes ces observations disjointes se groupent en série coordonnée.

Ce n'est pas tout encore. En même temps qu'ils procèdent à ces mesures micrométriques, les observateurs

doivent estimer, avec toute l'exactitude possible, les *grandeurs* des étoiles du groupe, et noter avec soin leurs *couleurs*. Puis, recourant au service des instruments méridiens, ils lui demanderont la *position absolue* de l'étoile — son ascension droite et sa déclinaison — et les éléments de son *mouvement propre*. Plus encore : si l'étoile s'y prête, il sera infiniment utile de multiplier d'autres observations, plus délicates que celles dont nous venons de parler et qui permettront de calculer sa *parallaxe*.

Pour hâter et faciliter tout ce travail, on a dès longtemps cherché à appeler la photographie au secours de l'observation visuelle. On sait les services excellents dont elle est capable : l'astronomie n'en reçoit de plus considérables que de la spectroscopie, encore celle-ci se fait-elle aider par elle. Laissons ses applications à l'étude de la Lune, à l'observation des éclipses, de la couronne, des taches, des facules, des protubérances solaires ; rappelons seulement ses débuts et ses succès en astronomie stellaire.

Les premières photographies d'étoiles remontent au temps des procédés du daguerréotype. Le 17 juillet 1850, W. C. Bond obtenait à Cambridge (U. S.) une impression nette de α de la Lyre et une *image allongée de l'étoile double Castor*. Mais la pose nécessaire était alors si longue, même pour ces étoiles brillantes, qu'il fallut attendre, pour reprendre ces essais et les étendre à des étoiles plus faibles, de nouveaux et importants progrès. Ils furent prompts à se produire, surtout après l'introduction du procédé au collodion.

Le 27 avril 1857, G. P. Bond, de Harvard College, obtint d'excellentes images de l'*étoile double* ζ *de la Grande-Ourse*, *Mizar*, et de l'étoile voisine *Alcor*. La pose avait duré huit minutes, et deux ou trois secondes seulement avaient suffi pour donner une bonne image de l'étoile prin-

cipale du couple Mizar (1). G. P. Bond soumit ses clichés aux mesures micrométriques qu'il compara aux données de l'observation visuelle. W. Struve avait trouvé, vers le même temps et par l'observation directe, 147°,40 pour l'angle de position et 14″,40 pour la distance du compagnon de ζ de la Grande-Ourse ; la photographie donnait 147°,50 et 14″,49. « L'erreur probable sur la distance des centres des deux composantes de Mizar, mesurée sur une seule des photographies, dit Bond, est ± 0″,072 ; l'erreur probable d'une seule mesure micrométrique de la distance, pour une étoile double de cette classe, est ± 0″,127 ; il s'ensuit que la valeur du procédé photographique comparé à l'observation visuelle s'exprime par le rapport $\frac{127}{72}$. » On se gardera de prendre cette remarque pour l'énoncé d'une règle absolue. En multipliant les comparaisons, G. P. Bond eût pu voir, pour des couples plus serrés, le rapport se renverser. Il préféra varier ses essais. C'est ainsi qu'il constata la possibilité de photographier les étoiles jusqu'à la septième grandeur, et il crut remarquer que la surface du disque, image de l'étoile, qui augmente avec le temps de pose, lui est proportionnelle.

Ces travaux de Bond eurent le plus heureux résultat. On y trouvait la preuve et l'exemple du concours très précieux que la photographie pouvait apporter dans les recherches les plus délicates de l'astronomie pratique, en particulier, dans la construction de cartes des régions du ciel les plus encombrées d'étoiles. Dès cette époque, cette préoccupation hante l'esprit des astronomes, et tous les progrès de la photographie sont successivement utilisés, avec une ardeur qu'accroît le succès de plus en plus brillant, à réaliser l'entreprise dans des proportions de plus en plus larges. Nous n'avons pas à raconter ici son histoire et son triomphe définitif ; mais nous devions en

(1) Mizar est de 3e grandeur et son compagnon de 5e ; Alcor est de 5e grandeur.

rappeler les débuts si étroitement liés à l'étude des systèmes stellaires. Pour en suivre les progrès, au nom de G. P. Bond dont nous avons esquissé les travaux, il faudrait joindre ceux de Warren de la Rue, de Rutherfurd, de B. A. Gould, de H. Draper, de Common, de Gill, des frères Paul et Prosper Henry... qui ont été les architectes et les artisans principaux du monument qui achève de s'élever : la carte photographique du Ciel. En même temps, l'intervention de la photographie dans la recherche des parallaxes s'est élargie et précisée, et elle concourt aujourd'hui très efficacement à la mesure des étoiles multiples quand la distance des composantes n'est pas inférieure à 4 ou 5 secondes et que leur éclat n'est pas trop différent.

Il y a quelques années, Michelson a indiqué un autre procédé de mesure des systèmes stellaires basé sur le phénomène des interférences. Pour en faire saisir le principe, nous devrions entrer dans de longs préliminaires qui nous écarteraient de notre sujet. Disons seulement que ce procédé, soumis à l'essai, a présenté certains avantages qui ne compenseraient pas la perte très sensible de lumière. Nous n'avons vu nulle part qu'il fût entré jusqu'ici dans la pratique.

Orbite apparente

Aux observations longtemps accumulées, habilement corrigées, savamment réduites et coordonnées, succède le travail de leur mise en œuvre. La première question qui se pose est celle-ci : Avons-nous affaire à une double physique ou à une double optique ? Le rapprochement des composantes sur la sphère trahit-il leur voisinage réel dans l'espace ou est-il simplement apparent ?

Des considérations *à priori*, fussent-elles très ingénieuses, ne sauraient suffire à nous renseigner. Celles qu'a

développées l'astronome Mitchell ont fourni au Calcul des Probabilités un de ses problèmes classiques : On fixe au hasard deux points sur la surface d'une sphère ; quelle est la probabilité pour que leur distance soit inférieure à d ? Cette sphère est le ciel ; ces deux points sont deux étoiles. La première peut être supposée connue, sa position, quelle qu'elle soit, ne change rien à la probabilité cherchée. La seconde est jetée au hasard : aucune cause, telle qu'une origine commune ou une attraction mutuelle, n'intervient pour les rapprocher. Pour qu'elle forme avec la première un *couple optique* de distance apparente d, il faut qu'elle tombe à l'intérieur de la calotte sphérique dont la première étoile est le pôle, et la distance d le rayon sphérique : la probabilité d'une telle rencontre s'exprime par le rapport de la surface de cette calotte à celle de la sphère. Si l'on répète l'épreuve avec 100 000 étoiles, on a, en nombres ronds, 32 chances seulement de voir se réaliser un couple optique dont la distance ne dépasse pas 32″. Cette conclusion, si précise, a-t-elle une signification quelconque ? — Aucune, répond J. Bertrand : le problème de Mitchell peut s'interpréter d'autre sorte et recevoir une solution différente. « Les probabilités relatives à la distribution des étoiles, en les supposant semées *au hasard* sur la sphère céleste, sont impossibles à assigner si la question n'est pas précisée davantage (1). » Tous les mathématiciens ne partagent pas cet avis, et l'un d'eux, M. G. Lechalas, en nous donnant le secret de cette multiplicité de solutions diverses d'un même problème où intervient l'infini, nous fournit le moyen de choisir celle qui répond à la question (2). Le débat est intéressant, mais nous nous y attarderions sans profit : savoir que le nombre des doubles physiques l'emporte probablement beaucoup sur celui des doubles optiques est un encouragement

(1) J. Bertrand, *Calcul des Probabilités*, Paris, 1888, p. 7.

(2) NOUVELLES ANNALES DE MATHÉMATIQUES, 4e série, t. III (1903), p. 21 (R. de Montessus), p. 345 (G. Lechalas) et p. 464 (A. Bienaymé).

mais ne saurait être un secours pour l'astronome qui doit trancher le doute dans un cas particulier. L'observation seule peut lui en donner le dénouement.

La tâche est souvent difficile et, pour qu'elle aboutisse à coup sûr, le temps doit y aider. Sans entrer dans la discussion des procédés, bornons-nous à en indiquer le principe.

Voici un couple d'étoiles dont on possède, je le suppose, des observations échelonnées sur une assez longue durée. Si des deux composantes l'une possède un mouvement propre auquel ne participe nullement la seconde, leur rapprochement est purement optique. Au contraire, si en attribuant à toutes deux le même mouvement propre, les résidus des mesures micrométriques de leur position relative affectent une allure régulière, surtout s'ils manifestent un déplacement angulaire de l'une des deux étoiles relativement à l'autre, leur voisinage est réel, et il y a lieu d'étudier l'*orbite apparente* et la loi de ce mouvement. D'attentives réflexions sont nécessaires pour bien saisir l'énoncé de ce problème.

Nous apercevons un astre, planète ou étoile : nous pouvons le supposer à toute distance ; la *direction* relative du rayon visuel est seule connue. — Cet astre se déplace dans l'espace relativement à un autre supposé immobile : le point où le rayon visuel perce la sphère, s'y promène et trace l'*orbite apparente* de l'astre en mouvement.

Si cet astre est une planète, le mouvement apparent mêle et confond, en sinuosités capricieuses, le déplacement de l'astre errant et celui de l'observateur terrestre emporté comme lui autour du Soleil : la planète progresse, stationne, rétrograde, s'arrête de nouveau pour reprendre sa marche en avant. Rien de semblable si nous observons une étoile.

En présence des étoiles, en effet, nous restons immobiles. Comparées aux distances qui nous séparent de la plupart d'entre elles, les dimensions de l'orbite terrestre

sont tenues pour nulles, et nos observations sont faites du *même point :* les soixante-douze millions de lieues que mesure le diamètre de l'orbite terrestre, ne valent pas qu'on en tienne compte. Imaginons donc une étoile tournant dans l'espace autour d'une autre étoile supposée immobile. Que verrons-nous ? — La projection de ce mouvement sur un plan perpendiculaire à la direction, toujours la même ici, du rayon visuel. Que pourrons-nous mesurer ? — L'angle de position et la distance relative de la projection, fixe sur ce plan, de l'étoile principale, et de la projection, mobile sur ce même plan, de l'étoile satellite. Que nous feront connaître ces mesures ? — Un certain nombre de points isolés, jalonnant l'*orbite apparente* du satellite. Quelques explications sont ici nécessaires.

On possède une longue série de mesures d'*angles de position* et de *distances*, dûment corrigées et coordonnées, se rapportant toutes à une même étoile double physique. Il s'agit d'en faire sortir les éléments de l'*orbite apparente* que décrit l'étoile secondaire autour de l'étoile principale supposée immobile.

Prenons une feuille de papier qui représentera le plan de cette orbite. Traçons-y deux lignes droites se coupant à angle droit ; plaçons la projection de l'étoile principale, supposée immobile, à leur intersection ; l'axe vertical représentera la projection de son cercle horaire, le sud S est en haut, le nord N en bas. Par l'origine, menons d'autres droites qui fassent avec la droite SN et en sens inverse de la marche des aiguilles d'une montre des angles égaux aux *angles de position* observés, et, sur chacune d'elles, à partir de leur sommet commun, prenons des longueurs proportionnelles aux *distances* correspondant aux angles de position qu'elles déterminent par leur direction. Si les observations étaient idéalement correctes, les points ainsi déterminés s'échelonneraient sur l'orbite apparente que nous cherchons à déterminer ; mais elles ne sont qu'approchées : l'orbite apparente ne passe donc pas

nécessairement par ces points ; elle chemine entre eux, les côtoie, les laissant à droite et à gauche à peu près en même nombre, si les observations sont nombreuses et pures d'erreurs systématiques. Supposons-les très nombreuses et absolument correctes : dans ce cas du moins est-il possible d'achever la solution du problème et de déterminer à la fois la *nature* et les éléments de l'orbite apparente ? — A la question ainsi posée, et en ne consultant que la rigueur géométrique, il faut répondre que cela est impossible. Par des points donnés, si nombreux qu'on les suppose, on peut toujours faire passer un nombre indéfini de courbes distinctes et de propriétés diverses. Un trait de plume passant par tous ces points est une solution du problème. Mais la nature ne nous a pas habitués à pareils caprices. La foi en la simplicité de ses lois vient ici en aide au chercheur, et les patients tâtonnements qu'elle dirige l'emportent où l'implacable rigueur de la géométrie échoue.

Kepler aux prises avec un problème analogue l'aborda de ce biais. Après de nombreux essais et de multiples retouches, il trouve qu'une orbite elliptique satisfait aux observations que Tycho Brahe avait faites de la planète Mars. Serrant le problème de plus près, il marque les lieux que la théorie nouvelle impose dans l'avenir à la planète, et il a la joie de voir sa fidélité au rendez-vous témoigner de l'exactitude des deux lois célèbres qui deviendront celles du mouvement de toutes les planètes : 1. Mars décrit une ellipse dont le Soleil occupe un foyer. 2. Les aires décrites par le rayon vecteur sont proportionnelles au temps.

Avec infiniment de raison, s'inspirant des lois de Kepler et prévoyant les conséquences grandioses qui découleraient de leur application aux systèmes stellaires, les astronomes transforment le problème géométriquement insoluble que nous énoncions tantôt et le remplacent par celui-ci : Quelle est l'*ellipse* qui représente le mieux l'orbite apparente que

décrit l'étoile satellite autour de l'étoile principale supposée immobile ? — La *nature* de l'orbite figure maintenant parmi les données du problème : c'est une *ellipse*, par hypothèse ; on ne demande plus aux observations que d'en déterminer les éléments.

Nous ne pouvons songer à exposer ici les méthodes multiples en usage depuis J. Herschel, qui imagina la première, pour résoudre ce problème. Les unes, pure-

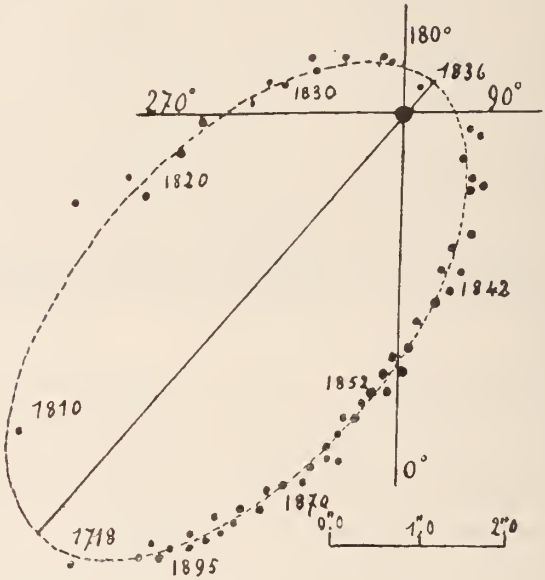


Fig. 3.

ment géométriques, n'emploient que des constructions graphiques ; les autres, à la règle et au compas, substituent le calcul. Toutes ont pour point de départ l'hypothèse d'une trajectoire apparente *elliptique*, et pour caractère commun de faire concourir au résultat le plus grand nombre d'observations. Leur application ne va pas sans de longs tâtonnements et de pénibles reprises : une première solution, soumise au contrôle des observations ultérieures, résiste rarement à l'épreuve ; il faut y revenir

et n'abandonner la tâche qu'au jour où l'étoile accepte de suivre la route qu'on lui a tracée.

La figure ci-jointe résume, en l'appliquant à un exemple, ce que nous venons de dire. Elle représente l'orbite apparente de γ de la Vierge ; les points noirs figurent les positions de l'étoile satellite telles que l'observation les a fournies. L'étoile principale est au point de croisement des axes perpendiculaires. En menant la droite qui passe par l'étoile principale et le centre de l'orbite, on obtient un de ses *diamètres ;* ici, et à l'échelle du dessin, ce diamètre se confond à très peu près avec le grand axe de l'orbite apparente.

Le résultat de ce travail, poussé jusqu'au bout pour quelques couples seulement, autorise l'énoncé des deux lois suivantes :

1. *L'orbite apparente relative de l'étoile satellite est une ellipse.* Elle est telle par hypothèse, mais les observations s'en accommodent et dès lors la consacrent. Les dimensions angulaires et l'excentricité de ces ellipses varient d'un système binaire à un autre.

On remarquera que cette loi copie la première partie de la première loi de Kepler, mais l'analogie s'arrête là. Tandis que le Soleil trône au *foyer* des ellipses planétaires, l'étoile principale n'occupe nécessairement ni le centre, ni le foyer, ni un point déterminé quelconque de l'orbite apparente.

2. *Le rayon vecteur de l'étoile satellite décrit des aires proportionnelles au temps.* Cette seconde loi esti dentique à la seconde loi de Kepler.

Telles sont les conclusions qui se dégagent immédiatement de l'observation, habilement interprétée, du mouvement relatif apparent de l'étoile satellite. Il nous reste à en poursuivre les conséquences.

Orbite réelle

Que pouvons-nous tirer de ces lois si, du mouvement apparent qu'elles régissent, nous remontons au mouvement réel du satellite dans l'espace ? — En toute rigueur, fort peu de chose.

Imaginons le cylindre elliptique droit qui aurait pour base l'*orbite apparente* : le rayon visuel qui, de la Terre, suit le mouvement de l'étoile mobile, en sera la génératrice. La première loi du mouvement apparent nous permet d'affirmer que l'étoile principale se trouve à l'intérieur de ce cylindre et que l'étoile secondaire ne quitte pas sa surface. De la seconde loi nous devons conclure que la direction de la force qui maintient l'étoile satellite sur son orbite rencontre constamment *la droite* TE, menée de la Terre à l'étoile et perpendiculaire au plan de l'orbite apparente. Mais quelle est la nature de l'orbite réelle ? Est-elle plane ou gauche ? Si elle est plane, c'est une ellipse ; dans ce cas, est-ce du foyer de cette ellipse que l'étoile principale préside au mouvement de sa compagne ? — A toutes ces questions, les données pures et simples de l'observation autorisent toute réponse et n'en imposent aucune.

D'indications aussi vagues le géomètre n'a que faire. Il faut, s'il prétend s'en servir, qu'il les précise, et il ne le peut qu'en recourant à une hypothèse.

La plus naturelle, celle que suggère l'analogie et que recommande entre toutes la simplicité, consiste à admettre que *l'orbite réelle est une courbe plane.* Il en résulte aussitôt les conséquences importantes que voici : Cette orbite réelle plane est une *ellipse*, puisqu'elle a pour projection orthogonale l'orbite apparente qui, nous le savons, est une ellipse. La *loi des aires* s'applique au mouvement réel, puisqu'elle régit le mouvement projeté sur le plan de l'orbite apparente. Enfin la direction de la force centrale

que suppose ce mouvement rencontre constamment l'étoile principale. Cette conséquence de notre hypothèse en est en même temps une justification. En effet, aussi longtemps que l'on ne suppose pas l'orbite réelle *plane*, la direction de la force qui agit sur l'étoile satellite rencontre, nous l'avons dit, la *droite* TE, et, comme il en serait ainsi pour *toutes les étoiles doubles*, il faudrait en conclure, dans l'hypothèse d'une orbite réelle gauche, que *la Terre occupe, dans l'espace, une position en relation avec celles des étoiles doubles*, ce qui n'est ni vraisemblable, ni légitime, ni vrai par conséquent.

Admettons donc que l'orbite réelle est plane. Cela suffit-il ? Le géomètre peut-il maintenant aborder le problème de la détermination des *éléments* de cette orbite plane ? — Pas encore. Une section plane quelconque du cylindre elliptique imaginé plus haut nous donne une ellipse vérifiant toutes les conditions imposées jusqu'ici. Entre toutes ces ellipses il faut choisir. On ne le peut qu'en faisant appel à une nouvelle hypothèse, elle aussi bien naturelle, pleine de promesses surtout si les faits l'acceptent : de toutes ces ellipses on retiendra, pour en faire l'orbite réelle, *celle dont l'étoile principale occupe un foyer* (1).

Maintenant les données du problème sont précises et suffisantes ; le compas ou l'analyse peuvent s'en emparer et déterminer, soit par des constructions graphiques, soit par le calcul, les *éléments* de l'étoile satellite : l'*inclinaison* du plan de son orbite sur le plan de l'orbite apparente ; la *direction* de la ligne d'intersection de ces deux plans ; l'*excentricité* de l'ellipse orbite ; l'orientation, dans son plan, de la *ligne des apsides* ; l'*époque* du passage au périastre ; la *durée* de la révolution et le *sens* dans lequel elle s'accomplit.

(1) Nous rencontrerons au paragraphe suivant une justification indirecte de cette hypothèse.

La première solution de ce problème date de 1825 et elle est due à Savary. Un peu plus tard, en 1832, Encke le résolut par une méthode nouvelle. Ces deux solutions abordent de prime saut le calcul de l'*orbite réelle* : elles exigent, pour aboutir, quatre observations complètes, distances et angles de position, et suffisamment espacées pour jalonner un arc notable de l'orbite. Ces conditions, que réalisent les observations des petites planètes, se rencontrent à peine dans le cas actuel, où les révolutions sont souvent très lentes et les mesures individuelles trop peu précises pour qu'il ne faille pas chercher à compenser leur rapprochement et leurs inexactitudes en les faisant concourir toutes au résultat.

C'est dans cet esprit qu'ont été imaginées les méthodes modernes. Toutes s'appuient sur la détermination préalable de l'*orbite apparente* et passent de celle-ci à l'*orbite réelle* en recherchant les éléments de l'ellipse qui a pour projection orthogonale une ellipse donnée — l'orbite apparente — et pour projection de son foyer un point également donné — celui qu'occupe l'étoile principale dans le plan de l'orbite apparente. Elles ont été créées et mises en pratique par J. Herschel, Y. Villarceau, Mädler, Klinkerfuess, Thiele, Glasenapp, Seeliger, Kowalsky, Zwiers, etc., et ce sont celles qu'adoptent aujourd'hui les astronomes. Nous n'avons pas à les exposer ici. Ceux de nos jeunes lecteurs que le sujet intéresse en trouveront le détail dans les ouvrages spéciaux. Qu'ils se persuadent que ce n'est point là objet de lecture mais de pratique. S'ils abordent l'étude de ces méthodes, qu'ils le fassent la plume à la main, en les appliquant pas à pas à un exemple concret ; c'est à ce prix qu'ils en comprendront le sens et la portée.

Ce travail achevé, il faut en soumettre le résultat au contrôle des faits. Des éléments de l'orbite calculée, on déduira donc les *éphémérides* de l'étoile mobile, c'est-à-dire qu'on fixera les *angles de position* et les *distances* relatives

à l'étoile principale que lui impose dans l'avenir la route tracée. Si elle répond à l'appel, son obéissance persistante rendra témoignage de l'exactitude des calculs dont elle accepte le résultat. Il en est ainsi dans les cas, relativement peu nombreux il est vrai, où la détermination de l'orbite réelle et le contrôle de ses éléments ont pu se faire : les écarts entre le calcul et l'observation — il y en a toujours — sont de l'ordre des erreurs accidentelles et prouvent seulement l'imperfection de l'un et de l'autre.

Attraction universelle

Les révolutions, dans les mondes stellaires, sont donc régies par les deux premières lois de Kepler qui règlent celles des planètes dans notre système solaire : l'étoile errante décrit, autour de l'étoile principale supposée fixe, comme la planète autour du Soleil immobile, une ellipse dont l'astre roi occupe un foyer. Dans les deux cas, le rayon vecteur décrit des aires proportionnelles au temps.

Or Newton, s'appuyant sur les définitions de la mécanique classique, a ramené ces deux lois à l'énoncé d'un principe supérieur d'où elles découlent nécessairement : l'attraction proportionnelle à la masse de l'astre mobile et en raison inverse du carré des distances. Tel serait le lien mystérieux qui rattacherait les planètes au Soleil ; tel serait aussi — l'identité des lois du mouvement impose cette extension — celui qui unirait entre elles les composantes d'un système stellaire.

Présentée ainsi, la conclusion est rigoureuse ; mais les sous-entendus y sont nombreux, et qui les perd de vue s'expose à en fausser la perspective. Revenons donc sur nos pas et reprenons la question où l'étude du mouvement apparent l'avait amenée.

Si aux lois du mouvement apparent dictées par l'observation on joint l'hypothèse d'une orbite réelle plane, nous

avons vu qu'il en résulte immédiatement ces deux lois du *mouvement réel* :

1° *L'orbite de l'étoile satellite est une ellipse.*

2° *Le rayon vecteur décrit des aires proportionnelles au temps.*

Ce dernier énoncé est, en propres termes, celui de la seconde loi de Kepler ; mais le premier diffère essentiellement de la loi correspondante du mouvement des planètes : là, la loi ajoute que *le Soleil occupe le foyer de l'ellipse orbite* ; ici, elle laisse indéterminée la position de l'étoile principale. Respectons cette indétermination. Que nous apprennent, de la force qui préside au mouvement de l'étoile satellite, ces deux lois telles que nous venons de les formuler, sans hypothèse subsidiaire qui les complète ?

De la seconde, de la loi des aires, nous devons conclure, comme pour des planètes et en employant le langage de Newton, que l'étoile mobile est constamment soumise à l'action d'une *force centrale*, dirigée vers l'étoile principale (1); c'est tout ce que nous apprend cette seconde loi :

(1) Sans prétendre à démontrer ce théorème, il peut ne pas être inutile d'en donner l'intuition et d'en préciser le sens. Imaginons un point mobile parcourant d'un *mouvement uniforme* la *droite* XX' (fig. 4). En chaque

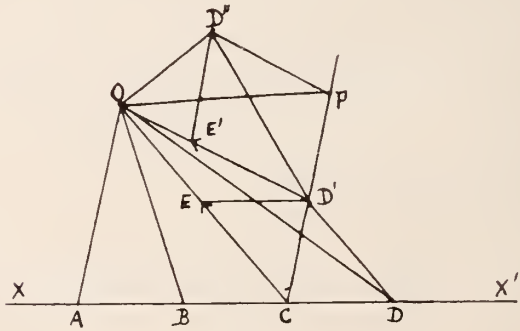


Fig. 4.

unité de temps, quelle qu'elle soit — la seconde, par exemple — le mobile parcourt des espaces égaux : AB = BC = CD = ... Choisissons arbitrairement un *centre fixe* O que nous joindrons au point mobile par une ligne

l'*existence* d'une force centrale ; elle est absolument muette sur *la loi qui règle, à chaque instant, l'intensité de cette force.*

Mais la trajectoire nous est connue : nous savons que c'est une *ellipse*. Cette donnée n'achève-t-elle pas de déterminer la force ? — Nullement ; dans ce cas le problème admet encore un nombre indéfini de solutions ; pour en dégager une nettement déterminée, il faut fixer le choix du *centre* de force. Donnons des exemples.

Un point P décrit une ellipse sous l'action d'une force centrale dirigée constamment vers *le centre* C *de l'orbite*. L'intensité de cette force centrale est, à chaque instant, proportionnelle à la distance CP.

Un autre point P décrit aussi une ellipse, mais ici la force centrale passe constamment par *un des foyers* F *de l'orbite*. L'intensité de cette force centrale est, à chaque

droite, OA : c'est le *rayon vecteur*. Pendant les unités de temps successives le rayon vecteur *décrit les aires* AOB, BOC, COD... Ce sont celles de triangles de bases égales, AB = BC = CD = ..., et de même hauteur, la perpendiculaire abaissée du point O sur la trajectoire : elles sont donc *égales*, et la *loi des aires* est vérifiée, dans ce mouvement, par rapport à un centre O quelconque.

Supposons qu'au moment où le mobile arrive en C, une impulsion *dirigée vers le centre* O lui communique une vitesse V de grandeur quelconque : représentons-la en grandeur et en direction par le segment CE. Le mobile obéissant à la fois à la loi de son mouvement primitif et à l'impulsion reçue, quitte sa trajectoire XX' pour s'engager sur la diagonale CD' du *parallélogramme* construit sur les vitesses représentées par les segments CD et CE ; il parcourt cette diagonale d'un mouvement uniforme et se trouve, une seconde plus tard, au quatrième sommet D' de ce parallélogramme. L'*aire décrite par le rayon vecteur*, pendant cette partie du mouvement, est celle du triangle COD' qui a même base OC et même hauteur, la perpendiculaire commune aux deux parallèles CO et DD', que le triangle OCD : la *loi des aires* s'applique donc au mouvement transformé ABCD', quelle que soit la grandeur de la vitesse d'impulsion V, à la seule condition — nécessaire, on le constate aisément — *qu'elle soit dirigée vers le centre* O.

Fractionnons l'unité de temps à l'infini ; multiplions les impulsions centripètes : qu'elles deviennent continues. Chargeons alors une *force centrale* du soin de les entretenir, et au bout de nos calculs nous trouverons cette conclusion : Pour qu'un point mobile qui décrit une trajectoire plane obéisse à la loi des aires, il faut et il suffit qu'il soit soumis à l'action d'une *force centrale*, en appelant ainsi toute force dont la direction passe constamment par un même point.

instant, inversement proportionnelle au carré de la distance FP.

Newton, qui démontre ces deux théorèmes dans son livre des *Principes*, y ajoute cet intéressant scholie :

« Si corpus P (fig. 5) vi centripeta ad punctum quodcumque datum R tendente moveatur in perimetro datæ cujuscumque Sectionis conicæ cujus centrum sit C, et requiratur

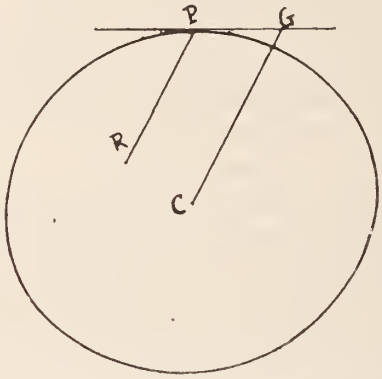


Fig. 5.

lex vis centripetæ : ducatur CG radio RP parallela, et orbis tangenti PG occurrens in G ; et vis illa erit ut $\frac{\text{CG}\,cub.}{\text{RP}\,quad.}$ (1). » Cette « loi de la force centripète » telle que

(1) *Philos. nat. Principia mathem.* De motu corporum liber primus. Prop. XVII, schol. Page 58 de l'éd. ultima, Amstælodami, MDCCXXIII. Il est intéressant de rechercher l'expression de $\frac{\text{CG}^3}{\text{RP}^2}$ en fonction des coordonnées du centre fixe R (α, β) et du point mobile P (x, y). Raisonnons dans le cas particulier qui nous intéresse ici, celui d'une trajectoire *elliptique*. Soient $2a$ et $2b$ les axes de cette ellipse ; r le rayon vecteur RP du mobile, K une constante. On trouve, par des calculs simples, pour loi de la force centrale,

$$F = \frac{Kr}{\left(1 - \frac{x\alpha}{a^2} - \frac{y\beta}{b^2}\right)^3}$$

Ainsi, l'intensité de la force F dépend, en général, non seulement de la *grandeur* r du rayon vecteur, à chaque instant, mais aussi de *sa direction* actuelle, ou de l'angle polaire θ = arc tang $\frac{y}{x}$. Pour qu'elle en soit

l'énonce ici Newton, ne s'applique qu'*aux coniques à centre*. En outre, rien ne nous autorise à admettre *à priori* qu'elle soit *la seule* qui réponde à la question. Cette remarque du livre des *Principes* ne nous montre donc qu'une face d'un problème plus général qui n'a pas échappé à l'attention des mathématiciens.

Dans un Mémoire intitulé *Du mouvement des étoiles doubles* considéré comme propre à fournir la preuve de l'universalité des lois de la gravitation universelle (1), Yvon Villarceau s'est demandé si la force qui produit les mouvements observés dans les étoiles doubles rentre nécessairement dans la loi de Newton. Il vit nettement que d'autres forces centrales, dépendant de la position de l'astre satellite, peuvent lui faire décrire une ellipse autour de l'étoile principale ; mais il ne poussa pas la solution du problème jusqu'à l'expression générale de ces forces.

Plus tard, J. Bertrand proposa à ses élèves ce beau problème : *Trouver les lois de forces centrales dépendant de la seule position du mobile et faisant décrire au mobile une conique, quelles que soient les conditions initiales* (2).

M. Darboux, le premier, en donna une solution (3) ; M. Halphen en donna une autre (4) que Tisserand reprit

indépendante, il faut placer le centre de force soit *au centre de l'orbite*, alors $\alpha = \beta = 0$ et $F = Kr$; soit au *foyer* : un calcul facile montre que l'on a, dans ce cas, $F = \frac{K'}{r^2}$, K' étant une constante. Or dans le cas des étoiles doubles, nous ne pouvons pas supposer l'étoile principale *au centre de l'orbite réelle* ; car, si elle occupait cette position, nous devrions la retrouver *au centre de l'orbite apparente*, ce qui n'a pas lieu. Donc, dans l'hypothèse d'une orbite réelle plane et en supposant l'intensité de la force centrale indépendante de la *direction* du rayon vecteur, le scholie de Newton ne nous donne qu'une seule expression admissible de la loi de cette force : elle est, à chaque instant, inversement proportionnelle au carré de la distance.

(1) Publié dans les *Additions* à la CONNAISSANCE DES TEMPS de 1852.

(2) COMPTES RENDUS de l'Ac. des Sc., t. LXXXIV, pp. 671 et 731.

(3) IBID., pp. 760 et 936. M. Darboux a développé depuis sa méthode dans les *Notes* dont il a enrichi le *Cours de Mécanique* de Despeyrous, t. II, note XIV, pp. 460-466.

(4) COMPTES RENDUS, t. LXXXIV, p. 939.

plus tard dans ses leçons de mécanique céleste (1) et que M. Appell a présentée à son tour dans son *Traité de Mécanique rationnelle* (2).

On y suppose que l'intensité de la force centrale, dont on cherche la loi, *ne dépend pas de la vitesse actuelle de l'étoile satellite*. Cette hypothèse, en simplifiant le problème, en restreint la généralité ; mais elle est naturelle et, théoriquement du moins, les observations spectrales, qui nous permettent de mesurer la vitesse radiale de l'étoile mobile, pourraient décider de sa légitimité. Voici l'énoncé de la solution du problème ainsi compris.

Deux lois de forces, et deux seulement, répondent à la question. Toutes deux font dépendre, en général, l'intensité de la force centrale, à chaque instant, de la *grandeur* et de la *direction* du rayon vecteur. Si l'on veut que ces forces dépendent uniquement de la *grandeur du rayon vecteur*, il faut placer le centre de force au *centre* ou au *foyer* de l'orbite. S'il est au *centre*, la force est *proportionnelle à la distance* ; s'il est au *foyer*, elle est *inversement proportionnelle au carré de la distance*. Il ne reste que cette dernière solution, si l'on veut en outre que la *force s'annule à une distance infinie* ; et nous avons fait remarquer déjà qu'elle s'impose pour les étoiles doubles, puisque l'étoile principale n'occupe certainement pas le centre de l'orbite elliptique du satellite. Remarquons que le scholie de Newton résout, de fait, complètement le problème pour une conique *à centre*.

De cet aride exposé une conclusion très nette se dégage : en toute rigueur, il est impossible de conclure des seules données de l'observation que la loi de Newton préside aux mouvements des étoiles doubles. Mais si l'on suppose que leurs orbites sont *planes*, que la force centrale qui régit leur mouvement ne dépend ni de la *vitesse*

(1) BULLETIN ASTRON., t. IV, p. 5.
(2) Deuxième édition ; t. I, p. 587.

actuelle de l'étoile satellite, ni de la *direction* de son rayon vecteur, il faut étendre aux systèmes stellaires les deux premières lois de Kepler et, par suite, le principe de l'attraction proportionnelle à la masse du satellite et en raison inverse du carré des distances, auquel ces deux lois se ramènent.

Or toutes ces hypothèses sont *naturelles;* ce sont les plus *simples* que l'on puisse invoquer pour mettre en œuvre les données de l'observation ; rien ne s'oppose à ce qu'on les accepte, tout au contraire y invite : l'analogie les suggère et l'utilité les justifie. Admettons-les donc et concluons qu'il est très vraisemblable que la loi de Newton, quelle que soit la réalité que recouvre son mystérieux énoncé, préside aux mouvements des astres dans les profondeurs de l'espace comme dans notre système planétaire.

L'Astronomie de l'invisible

Le 13 mars 1781, W. Herschel rencontrait accidentellement, dans le champ de son télescope, la planète Uranus. En 1820, Bouvard réunissait toutes les observations méridiennes de la nouvelle planète et, empruntant à la *Mécanique céleste* de Laplace les expressions analytiques des perturbations produites sur Uranus par Jupiter et Saturne, les seules planètes voisines connues, il construisait les tables de son mouvement et fixait les positions que la loi de la gravitation universelle lui assignait dans l'avenir.

On ne fut pas longtemps à s'apercevoir qu'indocile à la théorie, Uranus démentait de plus en plus les prédictions. Vers 1845, le désaccord était devenu intolérable. « Je pense, écrivait Bessel à de Humboldt, qu'un moment viendra où la solution du mystère d'Uranus sera fournie par une nouvelle planète, dont les éléments seraient déterminés par son action sur Uranus et vérifiés par celle

qu'elle exerce sur Saturne. » Le problème était difficile : Le Verrier le jugea à sa taille. Le 31 août 1846, il annonçait à l'Académie des Sciences sa solution définitive ; en même temps il faisait connaître la position de l'astre perturbateur. Le 18 septembre, il écrivait à un astronome de Berlin pour le prier de regarder le ciel à l'endroit qu'il lui indiquait. Galle reçut cette lettre le 23 ; le jour même il observait dans sa lunette la nouvelle planète que Le Verrier avait découverte « au bout de sa plume ».

Les plus brillantes conquêtes de l'astronomie tiennent au calcul des moindres irrégularités des astres. La découverte de Neptune en est la preuve la plus populaire ; on connaît moins celles qu'y ajoute l'astronomie stellaire.

Sirius, α du Grand-Chien, est la plus brillante des étoiles du ciel. Son nom, que l'on dérive du grec Σείριος, l'astre aux rayons brûlants, rappelle moins cette royauté que les influences que jadis on lui attribuait. C'était de son lever héliaque (1) que les anciens dataient les *dies caniculares*, jours torrides, redoutables à la fois aux hommes et aux animaux. Pour chanter la splendeur de ce lointain Soleil, les poètes ont épuisé toute la gamme des couleurs, et il s'est rencontré des érudits pour prendre au pied de la lettre ces épithètes bariolées et y lire la preuve que Sirius avait varié à l'infini la couleur de sa parure. Il reste de tout cela le fait étrange que Ptolémée le déclare *rouge* et que nous le voyons *blanc*.

Longtemps les astronomes se sont ingéniés à mesurer son diamètre apparent qu'ils croyaient sensible ; mais leurs mesures sont inutiles et erronées : elles portent non sur le diamètre de l'étoile qui ne peut dépasser quelques centaines de seconde, mais sur celui, beaucoup plus large,

(1) On appelle lever et coucher héliaques d'un astre, sa première apparition, le matin, alors qu'il se dégage des rayons du Soleil, et sa première disparition, le soir, quand il s'y replonge.

de la tache centrale de diffraction produite par l'objectif de la lunette ou le miroir du télescope.

Ils ont été plus heureux en étudiant son mouvement propre qui est considérable. On sait que les astronomes, jusqu'au commencement du XVIIIe siècle, croyaient les étoiles immobiles dans l'espace ; le nom de « fixes » qu'ils leur avaient donné consacrait cette croyance. Elle fut mise en doute, en 1718, par Halley pour Sirius, Aldébaran et Arcturus : les latitudes que venait de leur trouver Flamsteed, différaient de celles que nous avaient transmises les astronomes d'Alexandrie.

Ce doute devint certitude quand, quelques années plus tard, Jacques Cassini et surtout Tobie Mayer, multipliant les comparaisons de ce genre, étendirent la conclusion à un grand nombre d'étoiles que les recherches ultérieures ne cessèrent d'augmenter.

Que ce mouvement apparent soit dû, à la fois, à une gigantesque giration d'ensemble du système stellaire et au transport de notre monde planétaire à travers l'espace, il se traduit, pour les étoiles simples, grâce aux distances énormes qui nous en séparent, par un déplacement rectiligne et régulier.

Mais supposons une étoile possédant un compagnon *invisible*, sur lequel elle agit et dont elle subit elle-même l'action : son mouvement propre trahira cette influence secrète par les variations systématiques qu'elle y introduira. C'est, sous un nouvel aspect, l'histoire d'Uranus avant la découverte de Neptune.

Or Bessel, étudiant le mouvement propre de Sirius, y découvrit des écarts considérables *à marche systématique*, que ne pouvaient expliquer des erreurs d'observation. Poussant à bout le problème, en 1844, il arrive à cette conclusion que ces écarts systématiques, bien réels, avaient vraisemblablement pour cause une *étoile invisible*, formant avec Sirius un couple physique, et dont il fixait la position approchée.

Ces vues prophétiques ne furent point dès l'abord unanimement acceptées ; mais les discussions qu'elles soulevèrent et où W. Struve, C. Peters et A. Auwers tinrent les premiers rôles, en consolidèrent les bases et en précisèrent la conclusion. Il ne manquait à ces travaux que la sanction de l'observation. Elle ne se fit pas longtemps attendre. A. Auwers mettait la dernière main au Mémoire qui achevait d'asseoir la théorie de Bessel, quand, le 31 janvier 1862, A. Clark, de Boston, essayant sur le ciel l'objectif de $0^m,46$ qu'il venait de terminer pour l'Observatoire de Chicago, le dirigea sur Sirius. Le premier coup d'œil lui fit voir, près de la brillante étoile, un compagnon de 10e grandeur dont la position se rapprochait de celle qu'assignait à l'astre hypothétique de Bessel l'orbite calculée par C. Peters.

Cette découverte fut accueillie avec certaines réserves que dissipèrent les observations ultérieures. En 1892, celles qu'on avait recueillies permirent à A. Auwers de calculer l'orbite du *Compagnon de Sirius ;* elle justifia son identité : c'était, vraisemblablement, l'étoile prévue par Bessel.

L'histoire de Sirius se répète dans celle d'un autre joyau du ciel étoilé, α du Petit-Chien. Son nom, Procyon, προκύων, *antecanis*, donné aussi à la constellation dont il est le chef, rappelle que son apparition, à l'aube, annonce le retour prochain de Sirius et des mauvais jours qu'il présage. Quand Horace invite Mécène à fuir loin de Rome « fumum et opes strepitumque » et à chercher au plus tôt à la campagne un abri contre les ardeurs de l'été, c'est à l'aspect du ciel et à l'apparition de Procyon qu'il en appelle :

Jam clarus occultum Andromadæ Pater *(Céphée)*
Ostendit ignem ; Jam Procyon furit,
Et stella vesani Leonis *(Regulus)*
Sole dies referente siccos.

Les astronomes l'ont envisagé d'autre sorte. Comme pour Sirius, Bessel découvrit dans le mouvement propre de Procyon des variations systématiques qu'il expliqua de la même manière, en les attribuant à l'action perturbatrice d'un compagnon invisible jusque-là. Ce fut l'occasion de discussions semblables et de travaux également importants de W. Struve, Mädler, A. Auwers, O. et L. Struve qui aboutirent, cette fois encore, à la confirmation de l'hypothèse de Bessel et au calcul anticipé de l'orbite du satellite inconnu.

O. Struve crut le découvrir, à Poulkova, le 28 mars 1873, et le revoir le 11 avril 1874. On annonça même la confirmation de cette découverte par d'autres astronomes du continent, tandis que les observateurs américains, armés du réfracteur de $0^m,66$ de l'Observatoire de Washington et de la gigantesque lunette de $0^m,91$ de l'Observatoire Lick, ne parvenaient à rien voir. En vain prolongèrent-ils leurs recherches pendant plusieurs années ; de guerre lasse, ils abandonnèrent la partie, et O. Struve lui-même convint qu'il avait vraisemblablement été victime d'une illusion bien facile en pareille matière.

Mais voici que, le 14 novembre 1896, J. Schoeberle, de l'Observatoire Lick, aperçut, dans la grande lunette qui jusque-là s'était montrée impuissante, une étoile de 13e grandeur dans le voisinage immédiat de Procyon et dont la position cadrait assez bien avec celle que lui assignait d'avance l'orbite d'Auwers. Cette fois, ce n'était plus un fantôme.

Malgré les difficultés dont s'entoure cette délicate observation, nous possédons des mesures micrométriques du *Compagnon de Procyon* qui, jointes aux observations méridiennes différentielles de O. Struve, ont permis à M. See de calculer son orbite relative. Les données sur lesquelles repose ce calcul sont, il est vrai, trop peu nombreuses pour qu'on puisse en considérer le résultat

comme définitif; mais tout approché qu'il soit, les indications qu'il fournit sont — nous le verrons au paragraphe suivant — des plus intéressantes.

La théorie de Bessel et l'éclatante confirmation qu'elle a reçue de la découverte des compagnons de Sirius et de Procyon ont ouvert la voie à des recherches analogues mais plus difficiles, que les géomètres les plus habiles peuvent seuls pénétrer.

Parmi les couples les plus anciens et les plus familiers aux observateurs, des systèmes binaires se rencontrent dont les mouvements présentent à leur tour des irrégularités systématiques nettement caractérisées. Or, dans bien des cas, ces écarts semblent devoir s'expliquer de la manière la plus naturelle, par l'intervention de compagnons invisibles, trahissant leur existence par le trouble qu'ils jettent dans les systèmes auxquels ils appartiennent. Tels sont, entre autres, ζ d'Écrevisse et p d'Ophiuchus, qui ont été les mieux étudiés jusqu'ici, Castor, ε de l'Hydre, ζ du Verseau, γ et ι du Lion, ζ et μ d'Hercule, ζ de la Grande-Ourse, η de la Couronne boréale, etc. On entrevoit quel champ fécond en découvertes l'*astronomie de l'invisible* ouvre à l'activité des chercheurs ; et nous le verrons s'étendre encore quand nous étudierons les étoiles doubles spectroscopiques.

Conclusions

Il nous reste à grouper dans un tableau d'ensemble les connaissances générales actuelles sur les systèmes binaires télescopiques et les conclusions les plus intéressantes qui se dégagent de leur rapprochement.

Il est bien difficile d'évaluer le *nombre des couples connus*. Le dépouillement des catalogues, fût-il abordable, n'en

fournirait qu'une valeur approchée ; il faudrait y joindre celui des publications périodiques où sont consignées, au jour le jour, les recherches théoriques et les observations courantes, qui aboutissent soit à supprimer quelques systèmes reconnus purement optiques, soit, le plus souvent, à allonger la liste de nouveaux couples physiques.

Le catalogue général des étoiles doubles, publié en 1874, sous les auspices de la Société royale astronomique de Londres, et qui résume toutes les déterminations faites jusqu'en 1867, en signale 10 300. Qui jugerait que ce nombre s'est augmenté depuis lors de trois à quatre mille resterait sans doute en deçà de la vérité.

Dans l'hémisphère boréal, sur 13 000 étoiles, en chiffres ronds, des sept premières grandeurs, il y en a 1000 qui ont dans leur voisinage, à moins de 16″ de distance, des compagnons plus ou moins brillants. En adoptant la même distance mais en se limitant aux plus belles étoiles, ce rapport augmente rapidement. Ainsi on peut affirmer que, parmi les étoiles facilement visibles à l'œil nu, la moitié est dans ce cas. Si l'on élargit la distance, la proportion croît évidemment beaucoup, et on n'exagère rien, vraisemblablement, en avançant que *les deux tiers des étoiles de l'univers stellaire sont engagés dans des combinaisons binaires.*

Une conclusion intéressante se dégage de cette statistique, la voici : les *soleils simples*, comme le nôtre, sont de beaucoup plus rares que les *soleils groupés* tout au moins *par deux*. Il y a là, pour les chercheurs de théories cosmogoniques, un thème d'ingénieux aperçus et l'occasion de beaux calculs.

Aucune conclusion bien nette ne se dégage des *éclats relatifs* des composantes de ces systèmes stellaires. Les grandeurs semblent se rattacher aux distances, mais le lien qui les unit pourrait être tout artificiel et provenir des conditions mêmes qui règlent la marche des découvertes.

Il est bien plus facile de dédoubler deux étoiles *très voisines*, d'*éclats* relativement faibles et sensiblement *égaux*, que de séparer deux étoiles dont l'*une est très brillante*, même quand leur distance angulaire est relativement considérable. Cela suffit peut-être à expliquer ce fait qui semble bien établi : les couples dont les composantes sont d'éclat le plus semblable sont aussi ceux dont les distances sont les plus faibles.

Dans un grand nombre de couples physiques, les composantes sont de *couleurs différentes ;* peut-être faudrait-il dire qu'elles nous *paraissent* telles, car cette duplicité de teinte a été parfois attribuée à des effets de contraste. De fait, les deux couleurs associées sont souvent complémentaires ; dans ce cas, l'étoile principale est généralement *rouge* ou *orangée ;* l'étoile secondaire *bleue* ou *verte*. Quand ces circonstances se rencontrent avec une différence d'éclat considérable, il est vraisemblable que l'appréciation de la teinte du satellite est imposée à l'œil par la couleur de l'étoile principale et que c'est aux lois du contraste que nous devons ce ravissant spectacle. On peut d'autant moins se refuser à accepter cette explication que, si les étoiles *simples* rouges ou orangées sont nombreuses, il est rare d'en voir de vertes ou de bleues : ce n'est guère que dans les systèmes stellaires que celles-ci se rencontrent. Toutefois, il est certain que dans d'autres cas, où les effets de contraste sont moins favorisés, la différence des couleurs peut être très réelle et on a pu parfois la rattacher à la constitution des spectres des composantes.

Sur les 596 doubles *brillantes* observées par W. Struve, 375 ont des composantes de même éclat et de même couleur, 101 de même couleur et d'éclat différent, 120 de couleurs franchement différentes. Parmi les couples de même couleur, c'est le blanc qui domine ; vient ensuite le jaune ou le rouge, et enfin le bleu. Les groupes suivants présentent d'une façon très nette ces variétés de

teintes : η de Cassiopée, α des Poissons, γ d'Andromède, ζ de la Couronne, α d'Hercule, β du Cygne et σ de Cassiopée.

On a calculé les *orbites* relatives d'une centaine de systèmes binaires. La liste que publie l'ANNUAIRE du Bureau des longitudes pour 1905 en contient 92 ; M. Ch. André, dans son *Traité d'Astronomie stellaire*, en donne 66 dans son tableau des *Étoiles doubles dont les orbites sont connues*. Ces séries d'orbites *connues*, et surtout d'orbites *calculées*, se réduiraient beaucoup si on ne voulait y conserver que les orbites *définitives* ou à peu près pour lesquelles le travail de contrôle et d'approximation successive touche manifestement à sa fin.

Les *excentricités* de ces orbites varient entre des limites très larges et restent, en général, très supérieures à celles des planètes, si l'on en excepte Mercure. La plus faible, dans la liste dressée par M. Ch. André, est celle de ζ du Scorpion : elle vaut 0.131, soit le double à peu près de la valeur moyenne des excentricités des sept grosses planètes extérieures à Mercure. La plus grande appartient à γ de la Vierge : le nombre qui la mesure, 0,894, vaut plus de quatre fois l'excentricité de Mercure (0,206) et près de sept fois celle de ζ du Scorpion.

Les *périodes*, ou durées des révolutions, présentent la même variété : il en est de quelques années et il en est de plusieurs siècles. Dans la liste de l'ANNUAIRE les valeurs extrêmes sont 6 ans et 1758 ans ; dans celle de M. Ch. André, 11 ans et 370 ans ; δ du Petit-Cheval (P = 11,5) accomplit 34 révolutions à peu près dans le *sens rétrograde*, pendant que σ de la Couronne boréale (P = 370) en fait une dans le *sens direct*.

Quand à la connaissance des éléments de l'orbite relative se joint celle de la *parallaxe*, il devient possible de calculer les *dimensions réelles* kilométriques de l'orbite

et la *masse* du système. Ces circonstances favorables se rencontrent dans une dizaine de cas. Avant de grouper les résultats de ces calculs, indiquons brièvement comment on les obtient.

Nous avons dit que la parallaxe d'une étoile est l'angle sous lequel, de la distance qui nous en sépare, on voit le rayon de l'orbite terrestre ou la *distance moyenne du Soleil à la Terre*. Cette distance est l'*unité astronomique ;* elle nous est connue et vaut, en milliers de kilomètres, 149 501. Voici une étoile dont le demi-grand axe de l'orbite elliptique mesure a'' et la parallaxe p'' : le nombre a qui mesure en *unités astronomiques* ce demi-grand axe, vu d'ici sous l'angle a'', nous est évidemment fourni par le rapport $\frac{a''}{p''}$. Une simple division conduit donc au résultat et nous donne, en kilomètres, les dimensions de l'orbite relative de cette étoile.

Il est moins facile de la *peser*.

Nous avons vu les raisons qui, sans l'imposer en toute rigueur, rendent légitime l'application des deux premières lois de Kepler aux révolutions stellaires ou. ce qui est la même chose, l'extension à ces mondes lointains du principe de l'attraction proportionnelle à la masse de l'astre mobile et en raison inverse du carré des distances. Nous n'avons rien dit jusqu'ici de l'application aux étoiles de la *troisième loi de Kepler :* les carrés des nombres qui mesurent les périodes de deux planètes quelconques sont entre eux comme les cubes des nombres qui mesurent les grands axes de leurs orbites. Nous n'avons rien dit non plus de l'extension à l'univers stellaire de l'attraction proportionnelle à la masse de l'étoile principale. La raison en est bien simple : pour pouvoir, en toute rigueur, énoncer des étoiles cette troisième loi qui règle le mouvement des planètes, l'observation aurait dû nous fournir l'occasion de la vérifier en nous montrant là-haut deux étoiles satellites au moins tournant autour du *même Soleil*.

Or cette observation et cette vérification restent à faire. *Admettons qu'elles se feront avec succès ;* c'est beaucoup exiger des astronomes, c'est demander à l'implacable rigueur un mince sacrifice, car l'hypothèse est des plus naturelles. Il s'ensuit immédiatement que nous pouvons compléter ce que nous avons dit de l'action mutuelle des deux composantes et conclure qu'elle a pour expression $f\frac{mm'}{r^2}$, m et m' étant les masses des deux étoiles du système, r leur distance, et f un coefficient représentant l'attraction des deux unités de masse, à l'unité de distance *au pays des étoiles.*

Pourquoi cette restriction « au pays des étoiles » ?

Le Soleil attire les planètes, celles-ci attirent leurs satellites et ces actions sont réciproques. Au Soleil et à chaque planète est attaché un *coefficient d'attraction* déterminé. Si nous désignons par M, m, m',... les masses du Soleil et des diverses planètes, et par μ, λ, λ'... leurs coefficients d'attraction respectifs, l'action du Soleil sur la planète m, à la distance r, sera $\frac{\mu m}{r^2}$, et celle de la planète sur le Soleil M, sera $\frac{\lambda M}{r^2}$. Or le principe de l'égalité de l'action et de la réaction affirme l'égalité de ces deux attractions, en sorte que $\mu m = M\lambda$ ou $\frac{\mu}{M} = \frac{\lambda}{m}$. En associant ainsi successivement le Soleil à d'autres planètes et les planètes à leurs satellites, on trouve une suite de rapports égaux $\frac{\mu}{M} = \frac{\lambda}{m} = \frac{\lambda'}{m'} = \ldots$ et en appelant f la valeur commune de ces rapports, on a $\mu = fM$, en sorte que l'intensité de l'attraction mutuelle du Soleil et d'une planète quelconque s'écrira $f\frac{Mm}{r^2}$, *le coefficient f étant le même pour toutes les planètes* et représentant l'attraction mutuelle de deux unités de masse à l'unité de distance *dans notre système planétaire.*

Un calcul identique, appliqué à un système stellaire dont la masse principale serait M et les masses mobiles

m, m',... nous conduirait au même résultat ; mais ici le coefficient constant f représenterait l'attraction mutuelle de deux unités de masse à l'unité de distance *dans ce système stellaire*. En toute rigueur, rien ne prouve que ce coefficient f ait la même valeur ici-bas et là-haut. Si l'on se refuse à admettre cette identité, on s'enlève toute possibilité de pousser plus loin la comparaison des systèmes stellaires et de notre monde solaire ; si, au contraire, on l'accepte — et rien ne s'y oppose — il en résulte, entre tous ces mondes, un lien de parenté qui permet de les comparer entre eux et de poursuivre à toute hauteur les conséquences de l'attraction newtonienne rendue ainsi *universelle*.

Acceptons cette hypothèse, et nous voici en possession de tout ce qu'il faut pour *peser* les étoiles.

En résolvant le *problème des deux corps*, appliqué au Soleil et à la Terre, on trouve, entre les masses M et m, le demi-grand axe d de l'orbite de la Terre et la durée T de sa révolution, l'année sidérale, rapportés à des unités déterminées de masse, de longueur et de temps, la relation

$$f(\mathrm{M} + m) = \frac{4\pi^2 d^3}{\mathrm{T}^2}.$$

Remarquons que le rapport $\frac{d^3}{\mathrm{T}^2}$ n'est pas indépendant de la masse m de la planète considérée. Si la troisième loi de Kepler — qui n'est qu'une loi approchée — n'en tient pas compte c'est que, dans notre système planétaire, les masses individuelles des planètes sont de l'ordre du millième de la masse solaire et cessent dès lors de compter, dans une première approximation, en face de celle-ci. Mais rien ne nous autorise à transporter ce raisonnement aux étoiles doubles dont les composantes, souvent d'éclat voisin, peuvent très bien posséder des masses équivalentes. Retenons donc la formule générale que nous venons d'écrire.

En l'appliquant — nos hypothèses antérieures nous y

autorisent — à l'étoile principale et à l'étoile satellite d'un système binaire dont les masses seraient μ et μ', le demi-grand axe de l'orbite elliptique a et la période P, nous aurons

$$f(\mu + \mu') = \frac{4\pi^2 a^3}{P^2}.$$

Il nous reste à combiner ces deux formules pour en tirer la comparaison des deux systèmes. Elles nous donnent

$$\frac{\mu + \mu'}{M + m} = \frac{a^2}{d^3} \cdot \frac{T^2}{P^2}.$$

Si nous prenons pour *unité de masse* la somme des masses du Soleil et de la Terre, $M + m = 1$, ce qui diffère très peu de la masse du Soleil ; pour unité de longueur l'*unité astronomique* ou la distance moyenne du Soleil à la Terre, $d = 1$; enfin pour *unité de temps* l'année sidérale, $T = 1$, nous aurons

$$\mu + \mu' = \frac{a^3}{P^2}.$$

Nous avons vu d'ailleurs que le nombre qui mesure le demi-grand axe a de l'orbite de l'étoile satellite, dans le même système d'unités, n'est autre que le rapport $\frac{a''}{p''}$ de ce demi-grand axe à la parallaxe de l'étoile, exprimés tous deux en secondes d'arc : $a = \frac{a''}{p''}$. On peut donc *peser* les étoiles, comme on pèse les planètes pourvues de satellites ; la *masse* de comparaison est celle du Soleil — devant laquelle nous négligerons la masse de la Terre — et la pesée n'exige que des mesures d'angles (a'' et p'') et de temps, P.

Le tableau suivant groupe les résultats principaux de l'application des formules $a = \frac{a''}{p''}$ et $\mu + \mu' = \frac{a^3}{P^2}$, aux systèmes binaires dont on connaît les parallaxes. Il n'est pas superflu d'ajouter que les parallaxes stellaires étant, en règle très générale, fort peu sûres, l'incertitude des valeurs qu'on leur attribue rejaillit sur les nombres qui

mesurent les demi-grands axes a, et surtout sur ceux qui mesurent les masses, $\mu + \mu'$.

Étoiles	p''	a''	P	a	$\mu + \mu'$
η Cassiopée	0″,15	8″,20	190 ans	39	4,3
o^2 Eridan	0,19	5,72	176	28	0,9
Sirius	0,39	8,31	52	24	3,2
Procyon	0,27	5,84	40	4	6,3
α Centaure	0,75	18,17	84	25	2,0
p Ophiuchus	0,15	4,60	88	30	3,6
61 Cygne	0,44	29,48	783	68	0,5

Ce tableau suggère d'intéressants rapprochements. La distance moyenne d'Uranus au Soleil est de 19,18 unités astronomiques ; celle de Neptune 30,05. Les dimensions réelles des orbites stellaires, que donne la colonne a, leur sont comparables, sauf pour la 61e du Cygne où elles sont plus grandes et pour Procyon où elles sont plus petites ; encore l'orbite de ce dernier est-elle trop incertaine pour qu'on puisse faire état de cette exception. *Les mondes stellaires, tels que nous les connaissons aujourd'hui, sont donc à la taille de notre système planétaire.* Remarquons toutefois que bien des systèmes binaires dont la parallaxe est insensible ont des orbites apparentes dont l'ouverture angulaire ne le cède pas en grandeur à celle des étoiles du tableau précédent : il est donc vraisemblable que les orbites réelles sont, dans ces systèmes, beaucoup plus vastes.

Quant aux *masses* de ces couples physiques, on voit que, tantôt plus grandes, tantôt plus faibles que celle du Soleil, elles lui sont cependant, en général, comparables. Nous n'insistons pas sur Procyon qui, ici encore, fait exception. *La masse totale des systèmes binaires où on a pu la déterminer, est donc comparable à la masse totale de notre système planétaire.*

Mais ce renseignement global gagnerait beaucoup en intérêt, si on pouvait y joindre le rapport des masses des

deux composantes. Il est possible, dans certains cas, de pousser jusque-là la solution du problème.

Pour cela il faut et il suffit qu'on ait pu déterminer, non plus seulement l'*orbite réelle relative* que l'étoile satellite décrit autour de l'étoile principale supposée immobile, mais les *orbites absolues* que chacune des composantes trace autour du centre de gravité du système. Ces deux révolutions sont évidemment de durée identique et égale à la période de la révolution relative du satellite ; de plus elles s'accomplissent le long de deux ellipses semblables, dont les dimensions respectives sont inversement proportionnelles à leurs masses individuelles. La figure 6 représente l'orbite relative du compagnon de Sirius et les orbites absolues des deux composantes. Les cercles C et D donnent, à la même échelle, l'orbite moyenne de la Terre et celle de Neptune.

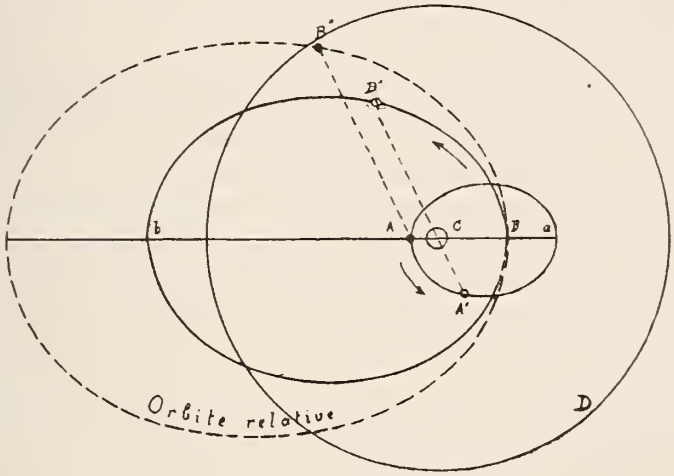


Fig. 6.

Jusqu'ici la détermination de ces deux orbites absolues a été demandée aux observations méridiennes, où l'on a relevé les positions, sur la sphère, de chacune des composantes par rapport à des étoiles de comparaison étrangères à leur système.

Cette étude faite sur α du Centaure et η de Cassiopée a donné, comme rapport des masses de leurs composantes, 1,1 pour la première de ces étoiles et 0,36 pour la seconde. Or les masses totales étant, d'après le tableau précédent, 2 et 4,3, on en conclut pour les masses individuelles des composantes de α du Centaure 1,1 et 1,0, et pour celles de η de Cassiopée 3,1 et 1,2. *Dans ces deux systèmes binaires, les composantes d'éclats égaux ont donc des masses comparables entre elles et ne différant pas beaucoup de la masse de notre système solaire.*

Une recherche analogue, poursuivie sur le système de Sirius, conduit aux conclusions suivantes : la masse du compagnon est égal à celle de notre Soleil, et celle de Sirius en est le double. Ici les composantes ont donc encore des masses à peu près équivalentes entre elles et à celle du soleil, mais les éclats intrinsèques sont très différents. L'éclat du compagnon, qui est de 10e grandeur, est voisin de celui qu'aurait notre Soleil transporté à la distance de Sirius. Or la quantité de lumière que rayonne Sirius vaut environ 500 fois celle que rayonne le Soleil. Il faut en conclure que l'éclat intrinsèque de cette belle étoile est beaucoup plus grand et que, dès lors, sa température est vraisemblablement beaucoup plus élevée que celle de l'astre central de notre système planétaire.

Dans le système de Procyon, toutes réserves faites sur l'incertitude de son orbite, nous trouverions aussi le rapport des masses sans proportion avec celui des éclats intrinsèques.

En résumé, si les systèmes binaires que nous révèle le télescope ont des *dimensions* qui rappellent celles de notre système solaire, et des *masses totales* comparables à celle du monde planétaire, ils diffèrent essentiellement de celui-ci par le mode de distribution de la matière. Là, elle se partage en deux masses à peu près équivalentes ; ici, une masse prépondérante gouverne une série de masses

minuscules, dont la plus considérable, celle de Jupiter, n'est que le millième de la première.

Voilà une constatation qui ouvre aux spéculations cosmogoniques de vastes horizons. Qui sait combien les élargiront encore les découvertes que l'avenir nous réserve ? Peut-être ces soleils lointains, qui obéissent à leur attraction mutuelle, président-ils aux mouvements de planètes comparables aux nôtres et à leurs satellites. Le saurons-nous jamais ? Leur lumière propre, si elles en émettent, ou celle qu'elles pourraient réfléchir, suffira-t-elle, accumulée au foyer de gigantesques lunettes, à en peindre une image sensible à notre œil ? Les perturbations qu'elles pourraient produire dans le mouvement de leurs soleils seront-elles accessibles à nos moyens d'observation multipliés et perfectionnés au cours des siècles à venir ? L'analyse sera-t-elle un jour assez subtile pour pénétrer ces mystères et assez habile pour en démêler les secrets ?... Et quand tout cela serait fait, que connaîtrions-nous de cette inépuisable variété et de ces sublimes harmonies où la puissance et la sagesse infinies se révèlent à notre intelligence ? « Au delà de cette voûte étoilée qu'y a-t-il ? De nouveaux cieux étoilés. Soit. Et au delà ?... Il ne sert de rien, de répondre : au delà sont des espaces, des temps et des grandeurs sans limites. Nul ne comprend ces paroles. Celui qui proclame l'existence de l'infini — et nul ne peut y échapper — accumule dans cette affirmation plus de surnaturel qu'il n'y en a dans tous les miracles de toutes les religions, car la notion de l'infini a le double caractère de s'imposer et d'être incompréhensible (1). »

J. Thirion, S. J.

(1) L. Pasteur. *Discours de réception à l'Académie française*, 22 avril 1882.

LES ORIGINES DE LA STATIQUE [1]

Chapitre XIII

LA STATIQUE FRANÇAISE — ROBERVAL

1. — *Salomon de Caus — Les premiers écrits du P. Mersenne — Le Cours mathématique de Pierre Herigone*

A la fin du XVIe siècle et au début du XVIIe siècle, l'étude de la Statique fleurit aux Pays-Bas avec Stevin et en Italie avec Galilée ; mais le premier tiers du XVIIe siècle s'écoule avant qu'aucun écrit important touchant cette branche de la science ait été imprimé en langue française.

Les lecteurs français désireux de s'initier à la Statique et à l'Hydrostatique n'avaient guère à leur disposition (2) que *Les livres de Hierome Cardanus, médecin milanois,*

(1) Voir REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, octobre 1903, p. 463, avril 1904, p. 560, juillet 1904, p. 9, octobre 1904, p. 394, et janvier 1905, p. 96.

(2) Il va sans dire que le latin était familier à tous les hommes de science et que, grâce à l'emploi de cette merveilleuse langue universelle, les traités composés à l'étranger étaient aisément lus par les mécaniciens français. Notamment, les *Méchaniques* de Guido-Ubaldo parvinrent de très bonne heure à leur connaissance. En 1599, Henri Monantholius, médecin et professeur de mathématiques, compose un commentaire (*a*) des *Questions mécaniques* d'Aristote. En cet ouvrage, il cite non seulement Cardan et les *Exercitationes* de Scaliger, mais encore très fréquemment le traité de Guido-Ubaldo.

(*a*) *Aristotelis Mechanica græca, emendata, latina facta, et commentariis illustrata* ab Henrico Monantholio, medico, et mathematicarum artium professore regio, ad Henricum IIII, Galliæ et Navarræ regem christianissimum. Parisiis, apud Jeremiam Perier, via Jacobæa, sub signo Bellerophontis. MDXCIX.

intitulés de la Subtilité et subtiles inventions, traduis de latin en françois par Richard le Blanc. Bien que cet ouvrage fût quelque peu vieilli, ils ne laissaient pas, parfois, d'en faire bon usage.

En 1615, le Normand Salomon de Caux ou de Caus (1576-1630) publie un ouvrage (1) dont l'importance pour l'histoire de la machine à vapeur a été signalée par Arago.

En ce livre, un seul auteur moderne est cité (2) comme ayant écrit sur la Mécanique, et cet auteur est Cardan. C'est à Cardan, d'ailleurs, que sont empruntées en entier les notions d'Hydrostatique et de Statique qui précèdent la description des machines inventées ou perfectionnées par Salomon de Caus. Celui-ci s'est borné à formuler avec ordre et netteté ce que le géomètre astrologue avait énoncé pêle-mêle en son livre étrange.

Ingénieur avant tout, Salomon de Caus remarque presque exclusivement, en la Statique de Cardan, la loi de l'égalité entre le travail moteur et le travail résistant, loi que Cardan lui-même devait sans doute à Léonard de Vinci.

En un levier, par exemple, les poids qui se font équilibre sont inversement proportionnels aux arcs de cercle qu'un déplacement virtuel fait décrire à leurs points d'application. « Si ceste démonstration (3) estoit bien considérée, plusieurs hommes ne s'abuseroient en la construction de diverses machines, par lesquelles ils pensent faire eslever un grand fardeau par une petite force, ce qui est bien possible comme sera démonstré, mais il faut aussi que la petite force face d'avantage de chemin comme a esté démonstré par la précédente, et par la présente ie

(1) *Les raisons des forces mouvantes avec diverses machines tant utilles que plaisantes aus quelles sont adioints plusieurs desseings de grotes et fontaines*, par Salomon de Caus, Ingénieur et architecte de son Altesse Palatine Électorale. A Francfort, en la boutique de Jean Norton, 1615.

(2) Au fol. 4, *verso*, et au fol. 5, *recto*.

(3) Id., *ibid.*, fol. 6, *recto*.

démonstrerai qu'il faut que ce mouvement se face en mesme temps. »

Les mêmes remarques sont faites soit à propos du levier, soit à propos des poulies (1) : « Ainsi, si l'on tire 20 pieds de corde, le fardeau ne lèvera que 10. Aussi un homme tirera aussi pesant avec ceste machine comme en feroient deux, si la machine estoit simple : mais les deux hommes tireront en mesme temps le double de la hauteur, savoir 20 pieds, avant que l'autre en aye tiré plus de dix ; et si aux moufles il y avait deux poulies, la force serait quadruple, mais aussi ne monterait le fardeau que 5 pieds en tirant 20 pieds de corde.

» Les roues dentelées (2) se font encore avec la mesme raison comme les précédentes, car en augmentant la force, l'on augmente proportionnalement le temps. » Salomon de Caus décrit alors une machine où deux axes C et E de même diamètre portent l'un un pignon de 6 dents, l'autre une roue de 48 dents, égales aux précédentes et engrenant avec elles. « Il faudra que le dit pignon face 8 tours contre la grande roue un, tellement que si une livre est pendue à l'axe C, elle sera esguallement balancée à 8 livres pendues à l'axe E, moyennant que lesdites axes soyent de pareille grosseur. Ainsi, quand l'on voudrait tirer 400 livres avec ladite axe E, ils ne donneroyent non plus de *travail* à tirer que 50 livres seroyent à l'axe C, aussi le pois monte 8 fois autant en l'axe C comme il ferait estant en l'axe E... tellement qu'un homme seul fera autant de force tirant un fardeau par ceste machine comme huit hommes feroient ayant chacun un axe C ; mais aussi si les huit hommes sont une heure à lever leur pois, l'homme seul sera huit heures à lever le sien. »

Pour la première fois, sans doute, depuis que l'on parle le français, le mot *travail* est prononcé avec le sens qu'il prendra dans la Mécanique de notre temps.

(1) Salomon de Caus, *Les raisons des forces mouvantes*, fol. 7, *recto*.
(2) Id., *ibid.*

Le pignon à vis, le pressoir donnent encore à Salomon de Caus l'occasion de noter l'égalité qui, en toute machine, relie le travail moteur au travail résistant. Cette loi est empruntée à Cardan ; les exemples sont aussi ceux dont le célèbre astrologue a fait usage.

L'année 1634 marque une date pour l'histoire de la Statique en France. En cette même année, parurent trois livres propres à révéler aux mécaniciens de notre pays les découvertes touchant les *Méchaniques* qui avaient vu le jour en d'autres contrées.

C'est en 1634, en effet, que B. et A. Elsevier publièrent à Leyde les *Œuvres mathématiques* de Simon Stevin, traduites, corrigées et augmentées par Albert Girard ; c'est en 1634 que Mersenne fit paraître chez Henry Guenon, à Paris, les *Méchaniques* de Galilée ; c'est en 1634, enfin, que Pierre Herigone fit imprimer, également à Paris, son *Cours mathématique*.

La publication simultanée de ces divers ouvrages fut le signal et, sans doute, l'occasion d'un mouvement puissant qui porta l'attention des géomètres français vers les lois selon lesquelles les poids se peuvent équilibrer ; sollicités par ces problèmes, ces géomètres produisirent des œuvres remarquables qui perfectionnèrent et achevèrent les solutions de leurs prédécesseurs. Ainsi naquit cette École française de Statique dont les premiers maîtres, rivaux l'un de l'autre jusqu'à la passion, furent Roberval et Descartes.

Les livres publiés en 1634 par Girard, par Mersenne et par Herigone nous font connaître les sources d'où ce courant est issu.

A sa traduction des *Méchaniques* de Galilée, Mersenne a joint diverses additions « qui seront aussi agréables que le reste (1), parce qu'elles contiennent de nouvelles spécu-

(1) *Les Méchaniques de Galilée*, traduites par L. P. M. M. Espitre *(sic)* à Monsieur de Reffuge, conseiller du Roy au Parlement.

lations, qui peuvent servir pour pénétrer les secrets de la Physique et particulièrement tout ce qui concerne les mouvements tant naturels que violents ».

En ces additions, c'est au *Mecanicorum liber* de Guido Ubaldo que Mersenne fait les plus fréquents emprunts ; il ne cache pas son admiration pour ce traité : « Ceux qui veulent seulement estudier aux méchaniques (1) doivent lire tout le 8e livre de Pappus, dans lequel il explique plusieurs sortes d'instrumens ; et les livres de Guidon Ubalde, qui a le mieux de tous traité de la nature de ces instruments. »

La première addition est consacrée à exposer la notion de moment ; la forme sous laquelle cette notion nous est présentée rappelle fort celle que lui a donnée Giovanni Battista Benedetti ; et il ne serait point surprenant que Mersenne la lui eût empruntée, car, en un autre ouvrage (2), ayant à faire usage de cette même notion de moment, il ajoute à son raisonnement cette mention : « Comme fait Jean Benoist dans son 3e chapitre sur les Méchaniques. »

Pappus, Guido Ubaldo, Benedetti n'ont point seuls inspiré les additions du P. Mersenne aux *Méchaniques de Galilée*. En la Xe Addition, qui clôt le traité, il donne (3) la détermination de la pression exercée par un poids sur un plan incliné : « Lorsque l'on veut sçavoir la force dont le poids F presse le plan BC, il faut prendre la base du triangle AC et la comparer avec l'hypotenuse BC ; d'autant que la pesanteur entière du poids F est à celle par laquelle il presse le plan BC comme CB est à CA. » Ce théorème est une des propositions les plus importantes qu'ait démontrées Stevin ; les *Hypomnemata mathema-*

(1) *Les Méchaniques de Galilée*, traduites par L. P. M. M., p. 87.

(2) *Seconde partie de l'Harmonie universelle*, par F. Marin Mersenne ; Paris, MDCXXXVII. Nouvelles observations physiques et mathématiques ; Ve observation, p. 17.

(3) *Les Méchaniques de Galilée*, traduites par L. P. M. M., p. 87.

tica étaient connus de Mersenne avant que Girard ne les eût traduits. Nous aurons du reste, en parlant de l'œuvre de Roberval, à revenir sur cette Xe Addition.

Que Mersenne ait connu l'œuvre de Simon Stevin avant que Girard en eût donné la traduction, nous en trouvons le témoignage et l'aveu dans un des premiers écrits du laborieux Minime.

Les Méchaniques de Galilée sont précédées d'une épître dédicatoire à M. de Reffuge, conseiller du Roy au Parlement, et cette épître débute ainsi : « Puisqu'il y a huict ans que je vous présentay les livres de Méchaniques en latin... »

En effet, en 1626, sous le titre de *Synopsis mathematica* (1), Mersenne avait publié en suite de petits traités. Chacun de ces traités se composait d'une collection de propositions, tirées d'auteurs anciens ou modernes, et reproduites sans aucune figure ni démonstration.

Selon Nicéron (2), l'un de ces traités était intitulé : *Euclides elementorum libri ;* un autre : *Theodosii, Menelai et Maurolyci sphærica et cosmographica.* Ces deux traités manquent dans l'exemplaire de ce très rare ouvrage que nous a communiqué la Bibliothèque municipale de Bordeaux. Cet exemplaire ne contient que trois traités, dont chacun a sa pagination spéciale. L'un de ces traités comprend toutes les propositions que l'on rencontre dans les œuvres d'Archimède ; l'autre, toutes celles qui ont été démontrées par Apollonius au sujet des coniques et par Serenus au sujet des sections du cône et du cylindre ; le troisième, enfin, intitulé *Mechanicorum libri*, est celui dont Mersenne parlait dans son épître à M. de Reffuge.

La préface, empreinte d'idées péripatéticiennes, annonce

(1) *Synopsis mathematica*, ad clarissimum virum D. Jacobum Lætus, Doctorem medicum Parisiensem. Lutetiæ, ex officina Rob. Stephani. MDCXXVI, cum privilegio Regis. — Le privilège royal est accordé au P. Marin Mersenne, religieux minime, dont le nom ne figure pas en titre.

(2) Nicéron, *Mémoires pour servir à l'histoire des hommes illustres*, Paris, 1736, t. XXXIII, p. 150.

que presque tous les théorèmes de Mécanique peuvent être ramenés à cet axiome : *Rotunda machina est moventissima, et quo major, eo moventior*. Et Mersenne ajoute : « Quo ad illam divinam sphæram spe erigamur, cujus centrum ubique, circumferentia nullibi esse dicitur ; et quæ tempus ab ævo

Ire jubet, stabilisque manens dat cuncta moveri. »

Cartésien, et non plus péripatéticien, ce n'est plus Dieu, mais l'univers que Pascal (1) devait un jour nommer « cette sphère infinie, dont le centre est partout et la circonférence nulle part ».

Ces trois livres des Mécaniques nous offrent l'inventaire probablement complet de ce que connaissait en l'an 1626, touchant la Statique, le Français le mieux informé de la science étrangère.

Le livre premier est intitulé : *De gravitatis et Universi centro ;* quatre parties le composent, dont plusieurs seront

(1) Pascal, *Pensées*, édition Havet, art. I, 1. E. Havet dit : « Il est probable que Pascal a pris cette image dans la préface mise par Mademoiselle de Gournay à son édition des *Essais de Montaigne*, de 1635, où elle la cite, d'après Rabelais, sous le nom du Trismégiste. » On voit que, dès 1626, elle était familière à Mersenne, qui fréquentait chez Étienne Pascal. Mersenne lui-même paraît la tenir de Nicolas Müller qui, en 1617, publia une édition annotée du livre de Copernic sur les *Révolutions des orbes célestes*. En ce livre, que Mersenne paraît avoir connu, à en juger par certains passages du *Synopsis mathematica*, Nicolas Müller s'exprime ainsi (*a*) : « Forma rotunda omnium capacissima existit, perfectissima, motui aptissima, atque adeo, sola locum replet in quo movetur. Quoniam igitur mundus omnia capere debebat, seipsum motu assiduo conservare, et quidquid loci erat replere, merito formam rotundam illi attribuit summus Opifex ac Demiurgus. Rogatus quidam ut Deum definiret, haud inscite respondit : Deum esse sphæram, cujus centrum sit ubique, superficies nusquam. »

(*a*) Nicolai Copernici Torinensis *Astronomia instaurata, libris sex comprehensa, qui* DE REVOLUTIONIBUS ORBIUM COELESTIUM *inscribuntur ;* nunc demum post 75 ab obitu authoris annum integritati suæ restituta, notisque illustrata, opera et studio D. Nicolai Mulerii, Medicinæ ac Matheseos professoris ordinarii in Nova Academia quæ est Groningæ. Amstelrodami, Excudebat Wilhelmus Jansonius, sub Solari aureo. Anno MDCXVII, p. 1 : Notæ breves, authore Nicolao Mulerio.

de grand intérêt en l'étude que contiendra notre Chapitre XV.

La première partie s'inspire fréquemment de Guido Ubaldo ; la seconde est formée de propositions extraites du livre de Commandin sur les centres de gravité des solides ; la troisième reproduit la suite des théorèmes de Luca Valerio sur le même sujet ; enfin, l'ouvrage de J. B. Villalpando sur Jérusalem et son temple, dont nous parlerons au Chapitre XV, a fourni les énoncés de la quatrième partie, transmis par elle aux mécaniciens qui les reproduiront encore à la fin du XVIIe siècle.

Le troisième livre, *De hydrostaticis et iis quæ ad aquam pertinent,* est, en entier, emprunté à Stevin.

Le second livre est celui qui, pour le moment, nous doit le plus longuement retenir ; il est consacré, comme nous l'apprend Mersenne en sa préface, à relater des propositions dont un bon nombre ont été démontrées par Guido Ubaldo et par Stevin.

Stevin et surtout Guido Ubaldo ont, en effet, fourni la plupart des théorèmes sur la balance et sur le levier que renferme la première partie, les lois des poulies et moufles rapportées en la quatrième partie, la théorie des autres machines à laquelle est consacrée la cinquième partie ; la troisième partie, toute pénétrée de ce qu'il y a de plus obscur et de plus confus dans la Statique péripatécienne, traite *Des applications utiles et merveilleuses du cercle aux Méchaniques.*

La seconde partie mérite d'arrêter un instant notre attention.

Elle est intitulée : *De ponderibus obliquis et de viribus vectis, et libræ et aliarum machinarum ad ea reductarum, ubi et de navigatione et de Quæstionibus mechanicis Aristotelis.*

La fin de cette partie est consacrée à reproduire presque entièrement les *Quæstiones mechanicæ* d'Aristote ; mais

tout ce qui précède cette reproduction est emprunté à Stevin.

Non pas que nous ayons ici la liste complète des propositions démontrées par Stevin au sujet du plan incliné et de la composition des forces ; les théorèmes insérés par Stevin dans le *Supplément à la Statique* ne sont nullement mentionnés, soit que Mersenne n'en eût pas encore connaissance, soit qu'il ne les regardât pas comme définitivement assurés.

Mersenne, en effet, ne nous laisse pas ignorer que la théorie des *poids obliques* était encore loin, en 1626, d'avoir conquis le consentement universel. « Jusqu'ici, dit-il (1), c'est à peine si l'on a pu démontrer quelque chose touchant les poids qui montent ou descendent obliquement. Nous nous contenterons donc, pour le moment, d'énoncer les propositions qui sont accordées par un grand nombre de géomètres. »

La première des propositions ainsi énoncées régit la pesanteur apparente sur un plan incliné. Mersenne la fait suivre (2) de ces réflexions, qui nous montrent combien la démonstration de Stevin était encore loin de satisfaire tous les mécaniciens :

« Stevin prouve cette proposition en montrant que, si elle n'était point vraie, le mouvement perpétuel en résulterait, ce qu'il regarde comme absurde. Mais certains prétendent qu'il s'est trompé en cela, tout comme Pappus... Ils pensent que l'on peut démontrer très clairement la fausseté de cette proposition, ainsi que l'erreur de Pappus. »

Un peu plus loin, Mersenne écrit (3) ces quelques lignes : « Mais tout cela semble reposer sur cet axiome dont, plus haut, j'ai touché un mot : la vitesse de descente de l'un des poids est à la vitesse de descente de l'autre,

(1) Le P. Marin Mersenne, *Synopsis mathematica, Mechanicorum libri*, p. 137.
(2) Id., *ibid.*, p. 138.
(3) Id., *ibid.*, p. 141.

comme la longueur de l'un des côtés du triangle (1) est à la longueur de l'autre ; en effet, deux descentes sont égales lorsqu'elles correspondent à une même diminution de la distance au centre ; or, plus le côté du triangle ou, ce qui revient au même, plus le plan est oblique, plus aussi ce côté est long ; la descente du corps grave qui suit ce côté en est d'autant plus lente, et d'autant plus lente l'approche vers le centre de l'univers. »

Il est impossible de se méprendre sur le sens de ce passage ; la démonstration de la loi du plan incliné qui y est esquissée est celle que Galilée indique dans l'écrit *Della Scienza Meccanica*, que Mersenne devait traduire en 1634.

Faut-il en conclure que Mersenne eût en mains, dès 1626, un manuscrit du traité de Galilée ? Tout nous porte à écarter cette interprétation. Non seulement le nom de Galilée ne figure pas dans le *Synopsis*, mais, hors le passage que nous venons de citer, nous n'y relevons aucune proposition qui porte la marque du grand géomètre florentin. Enfin, au début de la traduction des *Méchaniques de Galilée*, qu'il donne en 1634, Mersenne écrit à M. de Reffuge : « Puisqu'il y a huict ans que je vous présentay les livres de Méchaniques en latin, et que je fais voir le jour à ce nouveau traitté de Galilée, qui donne de nouvelles lumières à cette science... » Cette phrase semble bien indiquer que le *Della Scienza Meccanica* n'est venu à la connaissance de Mersenne qu'après la publication du *Synopsis*.

Il en faut donc conclure que Mersenne est parvenu par ses propres méditations à la théorie du plan incliné que Galilée a imaginée de son côté ; et, à vrai dire, l'invention de cette démonstration n'était guère malaisée ; il suffisait de prendre le raisonnement du Précurseur de Léonard de Vinci, raisonnement que Tartaglia avait publié

(1) Le triangle qui a pour côtés la ligne de plus grande pente du plan incliné, la verticale et l'horizontale.

dans les *Quesiti et inventione diversi*, que Curtius Trojanus avait donné dans le *Jordani opusculum de ponderositate*, et d'y substituer les vitesses aux chemins parcourus, substitution familière aux lecteurs de Guido Ubaldo. Mersenne était donc fort capable de découvrir, à lui seul, la démonstration trop vantée de Galilée.

Ainsi l'argumentation de Simon Stevin n'avait point entièrement supplanté, auprès des géomètres français, l'antique et solide raisonnement construit par l'École de Jordanus. Nous en aurons une nouvelle preuve en étudiant le *Cours mathématique* de Pierre Herigone.

Nous savons peu de choses sur ce mathématicien. Un épisode de sa carrière de géomètre nous est seul connu. Herigone fit partie d'une commission chargée d'examiner la méthode, proposée par Morin, pour prendre les longitudes en mer; le 30 mars 1634, la commission rejeta le procédé de Morin; cette décision provoqua la publication (1) des *Lettres escrites au Sr Morin par les plus célèbres astronomes de France approuvans son invention des longitudes, contre la dernière sentence rendue sur ce subject par les sieurs Pascal, Mydorge, Beaugrand, Boulanger et Herigone, commissaires députez pour en juger*.

En 1634, Pierre Herigone publia un cours complet de mathématiques en cinq volumes (2). Ce cours était rédigé à la fois en latin et en français ; de plus, les démonstrations étaient exposées au moyen d'abréviations et de symboles, grâce auxquels, selon l'auteur, elles pouvaient « estre entenduës facilement sans l'usage d'aucune langue ». La notation adoptée par Herigone n'a presque

(1) A Paris, chez Morin et Libert, 1634.

(2) *Cursus mathematicus, nova, brevi, et clara methodo demonstratus, per notas reales et universales, citra usum cujuscunque idiomatis, intellectu faciles. — Cours mathématique démontré d'une nouvelle, briefve et claire méthode, par notes réelles et universelles, qui peuvent estre entenduës facilement sans l'usage d'aucune langue;* par Pierre Herigone, mathématicien. Paris, MDCXXXIV.

aucune analogie avec la notation algébrique usitée de nos jours ; ainsi, là où nous employons les trois signes $=$, $>$, $<$, Herigone écrivait 2/2, 3/2, 2/3.

Ce cours, bien oublié aujourd'hui, eut assurément en son temps une certaine vogue. Le 26 février 1639, Debeaune écrit à Mersenne (1) : « Touchant Mr de Beaugrand, je vous advoue que j'ai beaucoup apris de ceste géométrie de Mr Des Cartes et que je ne sçavois que ce que j'avois apris de l'algèbre d'Herigone. » Après avoir été accru de deux suppléments, l'ouvrage de Pierre Herigone dut être réimprimé à Paris, chez Simon Piget, en 1644.

La partie de cet ouvrage qui nous intéresse est le tome troisième du *Cours mathématique, contenant la construction des tables des sinus, et logarithmes, avec leur usage aux intérests, et en la mesure des triangles rectilignes ; la géométrie practique ; les fortifications ; la milice ; et les méchaniques.*

Aucun nom d'auteur n'est cité en la partie du cours qui est intitulée : *Mechanica.* — *Les Méchaniques*. Cependant, il ne nous est point difficile de reconnaître les influences diverses que Pierre Herigone a subies lorsqu'il a rédigé ce chapitre.

Tout d'abord, l'influence de Guido Ubaldo est en évidence ; le *Mecanicorum liber* est constamment aux mains d'Herigone ; le texte latin de la proposition VI des *Mechanica* reproduit, sans y changer une syllabe, le texte de la huitième proposition consacrée au levier par le marquis del Monte ; c'est également au traité de ce dernier que sont empruntés les divers problèmes sur la balance qui se groupent autour des propositions III et IV.

Des découvertes de Galilée, il ne paraît pas qu'Herigone ait eu la moindre connaissance ; pas une ligne du *Cours mathématique* ne reflète une pensée de l'illustre Floren-

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et P. Tannery ; *Correspondance*, t. V, p. 532.

tin. Au contraire, à la Statique de Stevin le géomètre français a fait de larges emprunts ; l'analyse qui va suivre nous le montrera.

Elle nous fera découvrir également une troisième source de la science d'Herigone ; la Statique de l'École de Jordanus ne lui est point demeurée inconnue ; la démonstration de la règle du levier imaginée par Jordanus de Nemore, la démonstration de la loi du plan incliné construite par le Précurseur de Léonard sont parvenues jusqu'à lui et il a su en tirer parti. Comment en a-t-il eu connaissance ? Est-ce par l'étude des *Quesiti et inventioni diverse* de Tartaglia ? Est-ce par la lecture du *Jordani de ponderositate* édité par Curtius Trojanus ? Est-ce, enfin, par l'examen direct de quelqu'ancien manuscrit ? A ces questions, il nous sera peut-être possible de répondre tout à l'heure, au moins d'une manière vraisemblable.

Le point de départ de la Statique de Pierre Herigone, c'est la loi de l'équilibre du levier ; cette loi, il l'obtient (1) par l'élégante démonstration que Stevin a proposée.

La proposition qui formule cette loi est tout aussitôt suivie de cette autre (2) :

« Aux poids équilibres, comme le plus pesant est au plus léger, ainsi l'espace du plus léger est à l'espace du plus pesant ; ainsi aussi est la perpendiculaire du mouvement du plus léger à la perpendiculaire du mouvement du plus pesant. »

Cette dernière remarque est celle sur laquelle Jordanus a fondé la loi de l'équilibre du levier. Herigone ne la prend point pour fondement de cette loi. Au contraire, de la loi du levier établie à la manière de Stevin, il déduit comme conséquence ce dont Jordanus fait un principe. L'intention qui le porte à présenter ses pensées dans cet ordre est bien manifeste ; il a voulu justifier dans un cas particulier

(1) Herigone, *loc. cit.*, proposition I.
(2) Id., *ibid.*, proposition II.

la proposition dont il fera, par la suite, une hypothèse générale : « Aux poids en équilibre, comme le plus pesant est au plus léger, ainsi est la perpendiculaire du mouvement du plus léger à la perpendiculaire du mouvement du plus pesant. »

Cette hypothèse, Léonard de Vinci l'avait, à plusieurs reprises, fort nettement formulée ; mais il la mêlait avec l'hypothèse d'Aristote, où le rapport des *vitesses* virtuelles fait connaître le rapport des poids en équilibre ; Cardan avait moins nettement encore distingué ces deux hypothèses ; Guido Ubaldo, qui les réduisait à n'être plus que des corollaires, s'appliquait à les mettre toujours sur le même plan ; Stevin, repoussant l'hypothèse d'Aristote, avait réduit le principe de Jordanus à n'être plus qu'une courte remarque mise à la fin de la théorie des moufles, tandis que Galilée reprenait presqu'exclusivement l'énoncé péripatéticien relatif aux vitesses. Pour la première fois donc, depuis le moyen âge, le principe de Jordanus était remis en pleine vigueur.

Ce n'est pas qu'Herigone omît toute allusion au rapport des vitesses virtuelles ; mais cette allusion, il la réduisait à un très court corollaire, subordonné à la proposition précédente et formulé en ces termes :

« *Corollaire* : D'où il appert que le temps du mouvement d'un poids est d'autant plus long que le poids se meut facilement, et d'autant plus court qu'il se meut difficilement, et au contraire. »

C'est la comparaison entre les chemins parcourus, et non la comparaison entre les vitesses, qu'invoque Herigone lorsqu'il veut connaître, en une machine simple, le rapport entre la puissance et la résistance ; témoins ces citations (1) :

« *De la viz infinie.* La proportion de la puissance au poids se trouvera aussi en cet instrument, en supputant

(1) Herigone, *loc. cit.*, propositions XV et XVI.

les mouvements que font en même temps la puissance et le fardeau.

» *De la multiplication de la puissance de l'agent par le moyen des rouës à dents.* Aux rouës, de mesme qu'aux autres instruments, le poids est à la puissance qui le soustient, comme l'espace de la puissance à l'espace du poids. »

L'application la plus importante que fasse Herigone du principe de Jordanus est la démonstration de la loi du plan incliné. Voici cette démonstration (1) :

« Si la ligne droicte menée du sommet d'un triangle à sa base est perpendiculaire à l'horizon, les poids qui ont

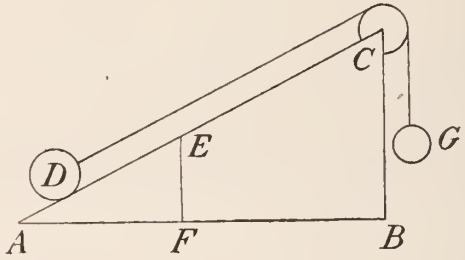


fig. 78.

mesme proportion entr'eux que les costez du triangle sur lesquels ils sont soutenus, sont équilibres.

» Car en mesme temps que le poids G (fig. 78) descend du poinct C au poinct B, le poids D monte du poinct A au poinct E et, par conséquent, BC sera la perpendiculaire du poids G et EF du poids D ; partant, puisque D est à G comme la perpendiculaire BC à la perpendiculaire EF, les poids D et G seront équilibres à raison de leurs situations. »

Cette déduction est essentiellement celle qu'a imaginée ce grand mécanicien inconnu, appartenant à l'École de Jordanus, que nous avons nommé le Précurseur de Léo-

(1) Herigone, *loc. cit.*, proposition VIII.

nard de Vinci ; l'influence exercée sur Herigone par le géomètre du moyen âge est, ici, bien visible ; elle se manifeste jusque dans les mots : « Les poids D et G seront équilibres à raison de leurs situations — *erunt situ æquilibria* », qui nous rappellent la *gravitas secundum situm* traitée en la Statique du XIIIe siècle.

Les principes les plus féconds de l'École de Jordanus sont donc sûrement venus à la connaissance d'Herigone ; ils ont dû, également, pénétrer jusqu'aux divers géomètres français de son époque et nous pouvons citer les démonstrations de Jordanus et du Précurseur de Léonard au nombre des sources qui ont, en France, accru le progrès de la Statique ; le cours d'Herigone, d'ailleurs, a grandement contribué à répandre les idées issues de ces sources.

Herigone ne connaît pas seulement, pour justifier la loi du plan incliné, la démonstration, si simple et si rigoureuse, du Précurseur de Léonard ; il connaît également l'ingénieuse démonstration de Stevin et l'expose à sa manière : « *Autre démonstration de la proposition huictiesme*. Si les poids proportionnaux aux costez d'un triangle n'estoient équilibres, le mouvement perpétuel se pourroit faire à l'entour d'un triangle, ce qui est absurde, veu que la nature n'entreprend rien qu'elle n'en devienne à bout. Partant, les poids proportionnaux aux costez d'un triangle sont équilibres.

» Que le mouvement perpétuel se pourroit faire à l'entour d'un triangle, si les poids proportionaux aux costez du triangle n'estoient équilibres, on monstrera ainsi :

» Soit imaginé que BCAEB (fig. 79) est un tuyau de mesme grosseur plein d'eau ou d'autre matière dont l'attouchement ne l'empesche aucunement de couler. A cause que AB est supposé être parallèle à l'horizon, l'eau du tuyau AEB sera équilibre et la pesanteur de l'eau du tuyau CB sera comme la longueur du tuyau AC à la longueur du tuyau CB, à cause que l'eau est un corps homogène et qu'il est supposé que le tuyau est de mesme grosseur partout.

» Maintenant, si l'on suppose que la puissance de descendre de l'eau de l'un des costez, par exemple du costé AC, soit plus grande que la puissance de descendre de l'eau de l'autre costé CB, l'eau du tuyau AC descendra, et l'eau du tuyau BC succédera en sa place ; et par ainsi, le tuyau AC sera tousjours plein d'eau ; et aura tousjours plus grande puissance de descendre que l'eau du tuyau CB, et par conséquent le mouvement sera continu, ce qui est absurde. Partant, puisqu'il n'y peut avoir de mouvement perpétuel en l'eau du tuyau, il est nécessaire que la puis-

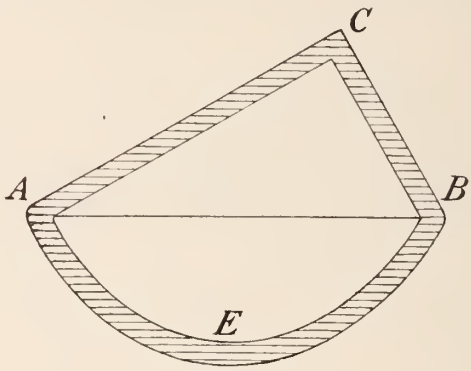


fig. 79.

sance de descendre de l'eau du tuyau AC soit égale à la puissance de descendre de l'eau du tuyau CB, ce qu'il fallait démonstrer. »

Au chapelet de boules considéré par Stevin, Herigone a substitué une colonne liquide, partout de même section ; l'innovation est fâcheuse ; on pourrait, tout aussi bien, supposer que les deux tuyaux AC, BC, fussent de grosseur différente ; l'équilibre du liquide n'en subsisterait pas moins ; si donc la démonstration d'Herigone était concluante, elle permettrait de prouver que, sur deux plans inclinés d'une manière quelconque, deux poids quelconques se tiennent en équilibre.

L'ignorance des lois de l'Hydrostatique qu'Herigone manifeste ici se montre également dans les quelques pages, intitulées *Les principes ou axiomes des spiritales*, qu'il leur consacre à la fin de ses *Méchaniques* ; il n'a point su emprunter à Stevin la connaissance exacte des propriétés des fluides,

Ce n'est pas, à coup sûr, en lisant l'Hydrostatique de Stevin qu'Herigone avait conçu l'idée de modifier, assez malheureusement d'ailleurs, la théorie du plan incliné donné par le grand géomètre de Bruges. Nous pouvons supposer, avec une très grande vraisemblance, que cette modification lui a encore été suggérée par un auteur du XIIIe siècle.

Nous avons vu qu'Herigone avait sûrement connu le traité de Mécanique composé, dès cette époque, par le Précurseur de Léonard de Vinci. Or, un des textes (1), copiés au XIIIe siècle, qui nous ont fait connaître ce traité présente une particularité intéressante ; au bas de la page où la première partie du traité se termine par la belle solution du problème du plan incliné qu'Herigone a reproduite, un annotateur, qui écrivait aussi au XIIIe siècle, a apposé ce qui suit :

« Remarquez qu'une conséquence découle nécessairement de la dernière proposition de cette partie : Que l'on prenne deux canaux de même grosseur, entièrement semblables ; qu'on les réunisse de telle sorte qu'ils fassent un angle ; qu'on les remplisse d'eau ; enfin que l'on mette une des extrémités en rapport avec une masse d'eau et cela, de telle sorte que les deux extrémités se trouvent à une même distance du plan horizontal. L'eau se tiendra en équilibre et ne descendra pas. Si l'on abaisse un peu au dessous de la ligne équidistante à l'horizon l'extrémité qui ne plonge pas dans l'eau, l'eau coulera de ce côté. Il suit donc de là que, par le moyen de tels instruments, l'eau

(1) Bibliothèque Nationale, Ms. nº 8680 A (fonds latin).

ne peut ni descendre en un lieu plus élevé que sa propre origine, ni en un lieu de même hauteur ; il faut nécessairement qu'il soit plus bas. »

Rapprochée de la solution du problème du plan incliné donnée par Stevin, cette théorie du siphon fournissait de suite la démonstration imaginée par Herigone. Il semble donc entièrement vraisemblable qu'Herigone avait lu le passage que nous venons de citer.

On en est encore mieux convaincu lorsqu'on examine

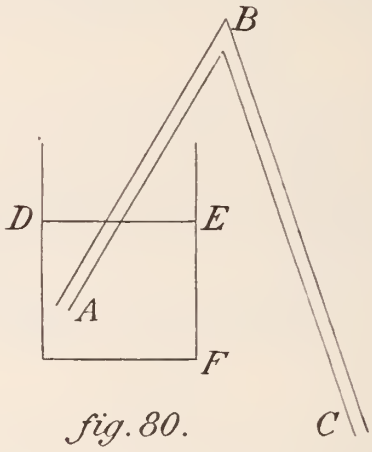


fig. 80.

le peu qu'il a écrit sur l'Hydrostatique ; parmi les *Principes ou axiomes des spiritales*, nous trouvons celui-ci, qui porte le numéro III : « L'eau du tuyau dont la perpendiculaire est plus longue pèse plus que l'eau du tuyau dont la perpendiculaire est plus courte. » Et plus loin, parmi les *Conséquences*, nous lisons : « Du troisième axiome s'ensuit, que si ABC (fig. 80) est un siphon plein d'eau, dont l'extrémité A soit plongée dans l'eau du vaisseau DF, et l'autre extrémité C soit plus basse que l'extrémité A, tout l'eau de vaisseau DF qui sera plus haute que l'extrémité A sortira par le siphon ABC. »

Visiblement, les connaissances d'Herigone au sujet du

siphon sont les mêmes que celles de notre annotateur du XIIIe siècle.

Herigone a donc beaucoup emprunté, lorsqu'il a rédigé son *Cours mathématique*, aux Mécaniciens de l'École de Jordanus. Il a grandement contribué à répandre leur principe le plus fécond parmi les géomètres du XVIIe siècle. C'est, sans doute, par lui surtout que ce principe est parvenu à la connaissance de Descartes, qui l'a pris pour fondement de la Statique tout entière.

C'est de Stevin qu'Herigone tient les diverses propositions dont il nous reste à parler.

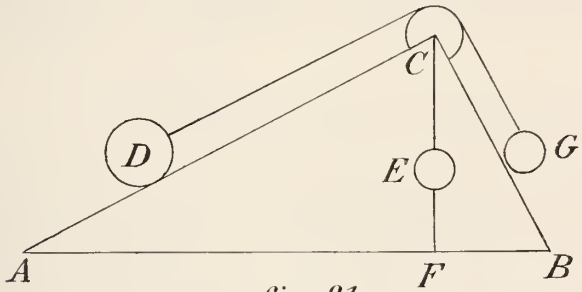


fig. 81.

La première est un corollaire de la théorie du plan incliné ; avec quelle force ce plan est-il pressé par le poids qu'il porte ? La réponse (1) est celle qu'a donnée Stevin : « D'ici il appert que la pesanteur du poids D (fig. 81) à la pesanteur par laquelle il presse la ligne AC est comme AC à AF. » De cette proposition exacte Stevin n'avait point donné de démonstration convaincante ; Herigone va-t-il être plus heureux ? Au plan incliné AC, il associe un second plan incliné BC qui lui soit perpendiculaire, et dit : « Puisque le poids D presse contre le côté AC autant que le poids G tire la ligne CG, et que le poids E pèse autant que le poids G tire CG, la vérité du corollaire est

(1) Herigone, *loc. cit.*, proposition VIII, corollaire.

manifeste. » Ce n'est pas même un semblant de démonstration.

On peut soutenir le poids D sur le plan AC (fig. 82) par une traction exercée suivant la ligne DL, parallèle aux lignes de plus grande pente du plan ; mais on peut également exercer la traction Q suivant la ligne DP qui fait, au-dessus de DL, l'angle DPL ; ou bien encore la traction H, suivant la ligne DI qui fait, au-dessous de DL, l'angle LDI. Quelle règle fera connaître les poids Q, H ? Cette règle, Stevin l'avait exactement formulée, sans

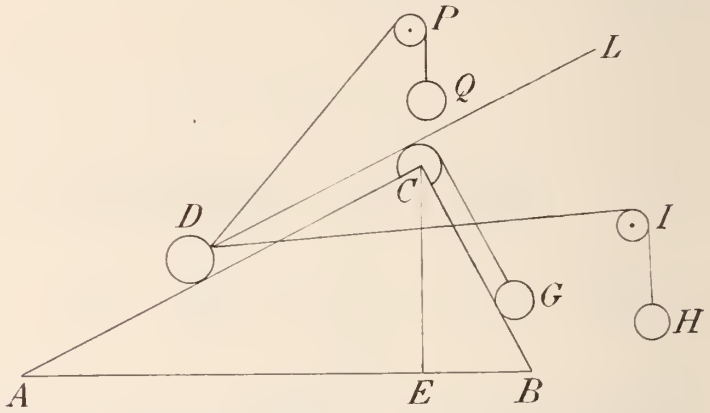


fig. 82.

pouvoir l'établir par un raisonnement satisfaisant. Herigone la postule (1) purement et simplement. Il mène le plan incliné BC qui fait, avec la verticale CE, un angle BCE égal aux angles PDL, LDI et il admet que les poids Q, H sont tous deux égaux au poids G capable, en glissant sur le plan BC, de faire équilibre au poids D.

De ces propositions relatives au plan incliné, Stevin avait montré comment on peut tirer la règle selon laquelle

(1) Herigone, *loc. cit.*, p. 306.

se composent deux forces concourantes ; cette règle, Herigone la donne également (1).

Le *Cours mathématique* d'Herigone a certainement contribué, à un très haut degré, à publier les plus importantes découvertes que Stevin ait faites en Physique. Aussi le nom d'Herigone se trouve-t-il associé à celui de Stevin soit par Borelli qui attaque (2) la loi de composition des forces donnée par le géomètre de Bruges, soit par Varignon, qui la défend (3).

Mais Herigone n'ajouta rien à ce que Stevin avait démontré ; il laissa béantes les lacunes que présentaient les déductions de son illustre prédécesseur. Roberval allait les combler.

2. *Gilles Persone de Roberval (1602-1675)*

Une seule fois, en sa vie, Roberval fit imprimer un livre qui fût exclusivement consacré à l'un de ses écrits ; encore, n'osa-t-il point s'avouer pleinement l'auteur de cet ouvrage ; il feignit de le donner pour la publication d'un antique traité composé par Aristarque de Samos et il ne réclama pour lui-même que le rôle d'éditeur et d'annotateur (4). Pour découvrir ses travaux sur la Statique, il les faut chercher parmi les écrits du P. Mersenne.

(1) Herigone, *loc. cit.*, proposition XII.

(2) Joh. Alphonsi Borelli neapolitani, matheseos professoris, *De motu animalium;* Pars prima, Cap. XIII, Digressio ad Propositionem LXIX ; Romæ, MDCLXXX.

(3) Varignon, *Nouvelle Mécanique ou Statique* dont le projet fut donné en MDCLXXXVII. Tome second, p. 453. Paris, MDCCXXV.

(4) *Aristarchii Samii de Mundi systemate, partibus et motibus ejusdem, libellus.* Adjectæ sunt Æ. P. de Roberval, Mathem. Scient. in Collegio Regio Franciæ professoris, notæ in eundem libellum. Parisiis, sumptibus vir. ampliss. Vænéunt apud Antonium Bertier, viâ Jacobeâ, sub signo Fortunæ ; MDCXLIV.

Une deuxième édition est insérée dans : *Novarum observationum physico-mathematicarum* F. Marini Mersenni, Minimi, tomus III ; quibus accessit *Aristarchus Samius, de Mundi Systemate* ; Parisiis, sumptibus Antonii Bertier, viâ Jacobeâ, sub signo Fortunæ ; MDCXLVII.

Marin Mersenne (1588-1648) est une des plus curieuses figures de la première moitié du XVIIe siècle. Après avoir été condisciple de Descartes au Collège de la Flèche, il avait pris l'habit religieux dans l'ordre des Minimes. Doué d'une infatigable activité, d'un amour passionné pour les sciences, il entretenait une incessante correspondance avec tous les géomètres et tous les physiciens que la France comptait à cette époque. Cette correspondance tenait vraiment, dans le monde intellectuel de ce temps, le rôle que joue aujourd'hui la presse scientifique. Par elle, un continuel commerce d'idées s'établissait entre la capitale et la province, un constant échange de découvertes et de controverses mettait en rapport les géomètres de Paris. Étienne et Blaise Pascal, Beaugrand, Roberval, avec le Lyonnais Des Argues, avec Fermat, conseiller au parlement de Toulouse, avec Jean Rey, médecin au Bugue en Périgord, enfin avec Descartes, retiré au fond de la Hollande, en un volontaire et orgueilleux exil. En ses nombreux livres, dont la plupart étaient consacrés à l'Acoustique et à la Musique, il accueillait, pour les répandre, les recherches les plus diverses, mais particulièrement celles qui concernaient la Physique et la Mécanique ; non seulement il y exposait les trouvailles de ses compatriotes, de Fermat, de Roberval, de Descartes, mais encore il y rendait compte de mainte œuvre étrangère ; il contribua grandement à faire connaître en France les progrès accomplis en Statique, en Hydrostatique, en Dynamique par Simon Stevin, par Giovanni-Battista Benedetti, par Guido Ubaldo, par Villalpand, par Galilée ; c'est grâce au P. Mersenne, enfin, que Blaise Pascal connut l'expérience du vif-argent, accomplie par Torricelli.

Dès 1627, le P. Marin Mersenne avait publié (1) un

(1) Cf. Nicéron, *Mémoires pour servir à l'histoire des hommes illustres*, Paris, 1756 ; t. XXXIII, p. 150.

Traité de l'Harmonie universelle, où est contenuë la musique théorique et pratique des anciens et modernes. En 1634, en même temps qu'il donnait la traduction des *Méchaniques* de Galilée, il produisait (1) les *Préludes de l'Harmonie universelle, ou questions curieuses, utiles aux prédicateurs, aux théologiens, aux astrologues, aux médecins et aux philosophes.*

L'année 1636 vit paraître à Paris, chez Guillaume Baudry, les *F. Marini Mersenni, ordinis Minim., Harmonicorum libri*, dont la seconde partie s'intitulait : *Harmonicorum instrumentorum libri IV.* Ornés d'une nouvelle dédicace et d'une préface, reliés ensemble sous un nouveau frontispice, ces deux volumes étaient vendus de nouveau en 1648, comme une *editio aucta*, sous le titre : *Harmonicorum libri XII.*

Mais auparavant, les *Harmonicorum libri*, traduits en français et enrichis de diverses additions, avaient fourni la matière d'un volumineux traité dont le premier tome parut à Paris, en 1636, sous le titre d'*Harmonie universelle*, dont le second tome fut imprimé en 1637 sous le titre de *Seconde partie de l'Harmonie universelle* (2).

C'est en la première partie de l'*Harmonie universelle* (3)

(1) A Paris, chez Henry Guenon, ruë S. Jacques, près les Jacobins, à l'image S. Bernard, MDCXXXIV.

(2) On trouve une notice très détaillée sur les *Harmonicorum libri*, et sur l'*Harmonie universelle* de Mersenne dans Brunet, *Manuel du Libraire et de l'Amateur de livres*, 5e édition, 1862, article Mersenne, p. 1662. Cette notice est due à M. Paulin Richard, de la Bibliothèque Nationale. Les exemplaires que possède la Bibliothèque municipale de Bordeaux nous ont permis de contrôler la minutieuse exactitude de cette notice.— Certaines parties de l'*Harmonie universelle* furent imprimées, ou du moins composées, avant 1636. A la dernière page de sa traduction des *Méchaniques de Galilée*, imprimée en 1634, Mersenne renvoie à un passage de la première partie de l'*Harmonie universelle.*

(3) Cette partie étant celle qui nous intéresse particulièrement, nous en donnons le titre complet :

Harmonie universelle, contenant la théorie et la pratique de la Musique, où est traité de la nature des sons, et des mouvemens, des consonances, des genres, des modes, de la composition, de la voix, des chants, et de toutes sortes d'instrumens harmoniques ; par

que se trouve inséré, avec une pagination spéciale, le *Traité de Méchanique ; des poids soustenus par des puissances sur les plans inclinez à l'horizon ; des puissances qui soutiennent un poids suspendu à deux chordes ; par G. Pers. de Roberval, Professeur royal ès Mathématiques au Collège de Maistre Gervais, et en la chaire de Ramus au Collège Royal de France.*

Les seuls auteurs que Roberval cite en ce petit traité sont « Archimède, Guid-Ubalde et Luc Valère » ; à ceux-là, cependant, il n'a presque rien emprunté ; selon le fâcheux usage du temps, ceux dont il s'est inspiré, il s'est bien gardé d'en faire mention. Nous pouvons aisément suppléer à ce silence.

En premier lieu, Roberval connaissait assurément, et fort bien, la *Statique* de Simon Stevin ; son *Traité de Méchanique* est comme un complément apporté à cette œuvre capitale ; il a pour unique objet de prouver d'une manière convaincante les propositions que le géomètre de Bruges avait énoncées sans démonstration suffisante.

En second lieu, Roberval est également en possession des méthodes employées par Galilée en sa *Mécanique ;* le procédé par lequel il justifie les propositions que Stevin n'avait pas su déduire de ses principes est imité, de très près, de celui par lequel Galilée avait ramené le problème du plan incliné au problème du levier.

Enfin, il introduit la notion de moment d'une manière qui rappelle les raisonnements de Giovanni-Battista Benedetti ; il avait assurément lu cet auteur que, vers la même époque, Mersenne suivait et citait.

Le petit traité de Roberval — il n'a que 36 pages — est un saisissant exemple de cette fausse rigueur à laquelle se laissent trop souvent prendre les physiciens épris de la méthode géométrique ; un grand luxe d'axiomes, un appa-

F. Marin Mersenne, de l'ordre des Minimes. A Paris, chez Sébastien Cramoisy, Imprimeur ordinaire du Roy, ruë S. Jacques, aux Cicognes. MDCXXXVI.

reil déductif savant et compliqué ne servent parfois qu'à dissimuler certaines hypothèses essentielles ; et il n'est pas rare que celles-ci consistent, ou à peu près, à admettre ce qui est en question.

Ainsi, Roberval admet qu'il revient au même, pour l'équilibre du levier à bras égaux CAB (fig. 83), que les deux poids A et D soient fixement attachés en B et en C ; ou bien que le poids D soit tenu par une corde qui glisse

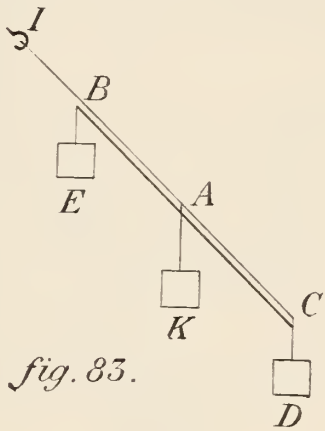


fig. 83.

sur le bras de levier AC, passe en A sur une petite poulie et porte un second poids K ; ou bien que cette corde, prolongée au delà de B, y soit retenue par un crochet I ; ou bien, enfin, que ce poids C repose sur un plan incliné normal à AC. Épargnant au lecteur l'embarras de préliminaires absolument inutiles, Roberval aurait pu, à l'exemple de Galilée, admettre d'emblée cette dernière supposition ; en effet, elle fournit sans peine la solution des problèmes qu'il se propose d'examiner. Il aurait pu aussi, fondant en un seul postulat ses axiomes multiples, admettre que deux liaisons distinctes, appliquées à un même poids, sont équivalentes lorsque la trajectoire virtuelle que l'une d'elles trace à ce poids est tangente au chemin virtuel que l'autre lui impose. Roberval use de certaines conséquences

fournies par ce postulat, comme l'ont fait avant lui Léonard de Vinci et Galilée, mais il laisse à Descartes le soin de l'énoncer explicitement et sous une forme générale.

Si l'on admet qu'il revient au même, pour un poids D, d'être assujetti à glisser sur le plan incliné AB (fig. 84) ou d'être attaché à l'extrémité D du bras de levier CD, normal à AB, et mobile autour du point C, il devient extrêmement aisé de résoudre les deux problèmes que Roberval énonce ainsi (1) :

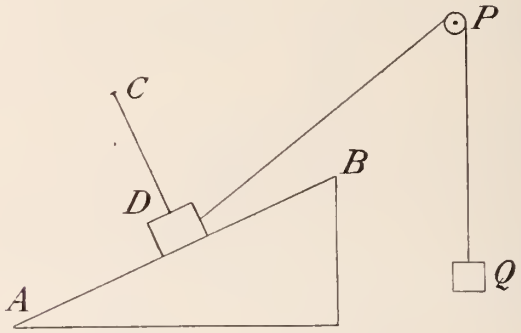


fig. 84

« Proposition I. *Estant donné un plan incliné à l'horizon, et l'angle de l'inclination estant cogneu, trouver une puissance, laquelle tirant, ou poussant par une ligne de direction parallèle au plan incliné, soustienne un poids donné sur le mesme plan.*

» Proposition II. *Quand la ligne de direction par laquelle soustient un poids sur un plan incliné n'est pas parallèle au même plan, l'inclination du plan et le poids estant donnés, trouver la puissance.* »

Pour résoudre ces problèmes, en effet, il suffit d'appliquer la loi générale de l'équilibre d'un *circonvolubile*,

(1) G. P. de Roberval, *Traité de Méchanique*, pp. 7 et 13.

que Benedetti a sans doute empruntée à Léonard de Vinci, et d'écrire que le poids vertical D a même moment par rapport au point C que la traction Q, dirigée suivant DP ; et c'est bien, en effet, cette solution que donne Roberval, non sans l'embarrasser de détours inutiles.

Aux deux précédents problèmes se ramène sans peine une troisième question que Roberval énonce (1) sous la forme suivante :

« Proposition III. *Estant donné un poids soustenu par*

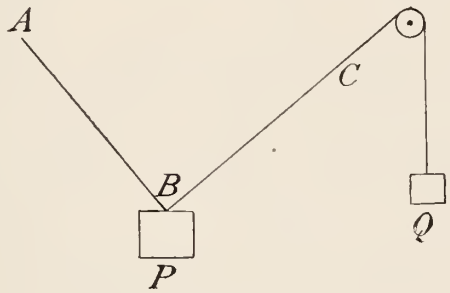


fig. 85.

deux chordes, ou par deux appuys, desquels la position soit donnée, trouver quelle puissance il faut à chacune chorde, ou à chacun appuy. »

Roberval traite ce problème de la décomposition d'une force par le procédé suivant :

La corde AB (fig. 85) est fixée à un arrêt en A. Quelle traction Q faut-il exercer sur la corde C pour maintenir en équilibre le poids P ?

D'après les axiomes que Roberval a formulés sur l'équivalence des liaisons, au lieu de supposer le poids P retenu par la corde AB, on peut imaginer qu'il glisse sur un plan incliné normal à AB. La solution cherchée se tire

(1) G. P. de Roberval, *Traité de Méchanique*, p. 21.

alors immédiatement de celles qui ont été précédemment données.

Cette solution entraîne diverses conséquences que Roberval formule (1) en ces termes :

« *Corollaire.* On remarquera donc qu'en tous les cas, on tire de chacune puissance deux perpendiculaires, l'une sur la ligne de direction du poids, l'autre sur la chorde de l'autre puissance ; et que dans les raisons du poids aux puissances, le poids est homologue aux perpendiculaires tombantes sur les chordes des puissances, et les puissances sont homologues aux perpendiculaires tombant sur la ligne de direction du poids...

« *Scholie II.* En ce second scholie, nous démonstrerons, en général, qu'en quelque disposition que soient le poids et les puissances qui se soustiennent sur deux chordes, pourveu que les chordes ne soient pas entre elles en ligne droite, le poids et les deux puissances sont toujours homologues aux trois costez d'un triangle...

« Que si de quelque point pris en la ligne de direction du poids, on mène une ligne parallèle à l'une des chordes jusques à l'autre chorde, le triangle formé de cette parallèle, de la ligne de direction et de la chorde, sera semblable au triangle susdit, et par conséquent seront homologues au poids et aux deux puissances ; ce qu'un géomètre prouvera facilement, avec plusieurs autres propriétez que nous laissons. »

Voilà donc, nettement énoncées et démontrées, les règles de la composition des forces que Stevin avait formulées, mais qu'il n'avait pu étayer de démonstrations convaincantes. Roberval a construit sa preuve en ramenant l'équilibre d'un poids soutenu par une corde à l'équilibre d'un poids glissant sur un plan incliné, et ce dernier à l'équilibre d'un poids pendu à l'extrémité d'un bras de levier ; il eût fort bien pu épargner un intermédiaire

(1) G. P. de Roberval, *Traité de Méchanique*, pp. 24, 27 et 28.

inutile et éviter la considération du plan incliné ; il eût réduit immédiatement l'équilibre d'un poids soutenu par des cordes à l'équilibre d'un poids pendu à l'extrémité d'un bras de levier. La démonstration plus directe qui eût été composée de la sorte eût présenté une grande analogie avec celle que Léonard de Vinci avait proposée (1).

A ne considérer que ce qu'il y a d'essentiel en toutes deux, la démonstration de Roberval et celle de Léonard de Vinci se confondent ; celle-ci a sur celle-là l'avantage d'être plus immédiate, d'éviter plus parfaitement les détours oiseux.

Léonard, nous l'avons vu, avait malencontreusement abandonné la loi de la composition des forces dont il avait donné une si ingénieuse démonstration. Il a fallu les efforts successifs de Stevin et de Roberval pour retrouver la vérité qu'il avait laissé échapper, après l'avoir un instant tenue entre ses mains.

Roberval n'a pas donné seulement de la composition des forces la démonstration que nous venons d'analyser, il en a également fait connaître une autre ; l'importance de cette preuve nouvelle, aussi bien que la rareté du livre où elle est consignée, nous engage à rapporter en entier ce qu'en dit (2) notre géomètre :

« *Scholie VIII.* — Nous avons remarqué sur le subject d'un poids pendu à deux chordes, une chose qui nous a pleu beaucoup ; laquelle est telle que, quand le poids est ainsi soustenu par deux puissances, les raisons estant comme il a esté démonstré en la 3e proposition, le poids ne peut monter ny descendre que la proportion réciproque des chemins avec le poids et les puissances ne soit changée, et contre l'ordre commun ; comme si le poids est posé en A (fig. 86) sur les chordes CA et QA soustenuës par les puissances C, Q, ou K, E, le poids estant

(1) Cf. Chapitre VIII, 2.
(2) G. P. de Roberval, *Traité de Méchanique*, p. 35.

aux puissances comme les perpendiculaires CB et QG sont aux lignes CF et QD, ainsi il a esté dit en la 3. prop.

» Si au dessus du poids A, dans sa ligne de direction, on prend quelque ligne comme AP, il arrivera que si le poids A descend jusques en P, tirant avec soy les chordes et faisant monter les puissances K, E, il y aura réciproquement plus grande raison du chemin (1) que les puissances feront en montant au chemin que le poids fait en

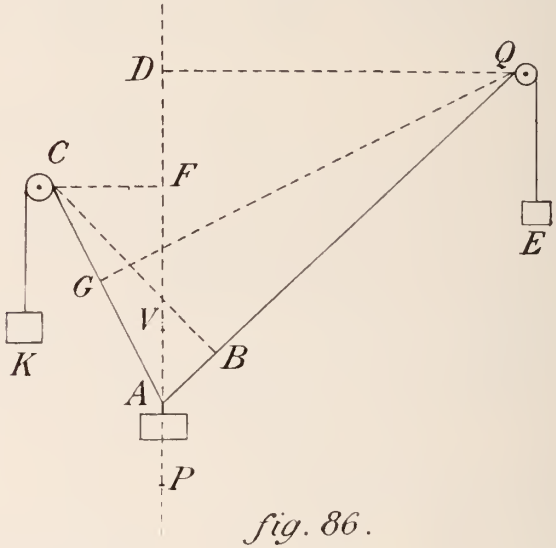


fig. 86.

descendant, que du même poids aux deux puissances prises ensemble ; ainsi les puissances monteroient plus à proportion que le poids ne descendroit en les emportant, qui est contre l'ordre commun.

» Que si au dessus du poids A, dans sa ligne de direction, on prend une ligne comme AV, et que le poids monte jusques en V, les chordes montant aussi, emportées par les puissances K, E, qui descendent, il y aura réci-

(1) Les deux puissances décrivent des chemins différents ; Roberval veut assurément parler d'un chemin *moyen*, qui serait le chemin du centre de gravité des deux poids K, E.

proquement plus grande raison du chemin que le poids fera en montant, au chemin que les puissances feront en descendant que des deux puissances prises ensemble au poids ; ainsi le poids monteroit plus à proportion que les puissances ne descendroient en l'emportant, ce qui est encore contre l'ordre commun, dans lequel le poids ou la puissance qui emporte l'autre, fait toujours plus de chemin à proportion que le poids ou la puissance qui est emportée.

» Or que les raisons des chemins que feroient le poids A et ses puissances, en montant et descendant, soient telles que nous venons de dire, et contre l'ordre commun, on en trouvera la démonstration dans nos Méchaniques, car elle est trop longue pour estre mise ici. Partant le poids A, en subsistant et demeurant en son lieu, par les raisons de la 3. prop., demeure ainsi dans l'ordre commun, ce que nous voulions remarquer. »

Cette démonstration de la règle suivant laquelle deux forces se composent est tirée de la comparaison entre le *travail* des puissances et le *travail* de la résistance, pour employer le mot par lequel la Mécanique moderne désigne le produit d'un poids par la hauteur de sa chute.

Cette comparaison, nous l'avons vue servir dès le XIIIe siècle à justifier certaines lois de Statique ; Jordanus de Nemore en a tiré la démonstration de la condition d'équilibre du levier, connue depuis si longtemps ; son continuateur, le Précurseur de Léonard de Vinci, en a fait usage pour obtenir la première solution satisfaisante du problème du plan incliné.

En ces deux cas, la comparaison entre le travail de la puissance et le travail de la résistance conduit à un résultat très simple ; quel que soit le déplacement virtuel que l'on impose au mécanisme étudié, il y a, lorsque les conditions d'équilibre sont remplies, égalité entre le travail moteur et le travail résistant. Cette relation si simple dépend d'une autre particularité présentée par les mêmes mécanismes : leur équilibre est un équilibre *indifférent*.

Lorsque l'on considère un mécanisme dont l'équilibre est *stable*, la comparaison entre le travail moteur et le travail résistant qui accompagnent un déplacement virtuel ne conduit plus à un résultat aussi simple ; il n'y a plus égalité entre ces deux travaux ou, du moins, cette égalité ne se retrouve plus qu'entre travaux *infiniment petits* correspondant à un déplacement virtuel *élémentaire*.

Les géomètres dont nous étudions l'œuvre, aussi bien les élèves de Jordanus que Roberval, ne considèrent que des déplacements *finis* ; dès lors, leur analyse doit se compliquer quelque peu lorsqu'il s'agit d'établir les conditions d'équilibre stable d'un mécanisme ; il leur faut montrer qu'en tout déplacement de ce mécanisme, le travail des poids qui montent est plus grand en valeur absolue que le travail des poids qui descendent.

De cette méthode, le Précurseur de Léonard de Vinci avait donné un fort élégant exemple lorsqu'il avait établi la loi d'équilibre de deux poids suspendus aux extrémités des bras d'un levier coudé. Roberval, dans le passage que nous venons de citer, en a fait une seconde application qui ne le cède pas à la première.

Roberval connaissait-il l'usage qui, dès le XIIIe siècle, avait été fait du même procédé de démonstration ? Nous ne saurions répondre à cette question d'une manière catégorique. Rien ne nous empêche d'admettre qu'il ait ignoré la démonstration de la loi d'équilibre du levier coudé donnée par le Précurseur de Léonard de Vinci ; Tartaglia, en effet, n'avait pas reproduit cette démonstration dans ses *Quesiti et inventioni diverse* ; elle se trouvait reproduite dans un seul ouvrage imprimé, le *Jordani opusculum de ponderositate* publié par Curtius Trojanus ; et elle y était si brouillée, si méconnaissable que le lecteur était excusable de ne l'y point remarquer.

D'autre part, nous avons vu qu'Herigone avait probablement eu en sa possession un manuscrit renfermant le traité du Précurseur de Léonard ; il ne serait pas invrai-

semblable que ce même manuscrit eût été connu de Roberval.

Le passage que nous avons cité résume la démonstration de Roberval ; il ne l'expose pas en entier ; Roberval nous apprend que l'on trouve la démonstration complète dans ses « Méchaniques ». De cette indication, d'une indication analogue insérée en l'exposé de la proposition III, nous devons conclure que le *Traité de Méchanique* inséré en 1636, par Roberval, dans l'*Harmonie universelle* de Mersenne est un extrait d'un traité plus étendu qu'il avait publié auparavant.

Mersenne, d'ailleurs, en la première partie de l'*Harmonie universelle*, à laquelle est accolé le *Traité de Méchanique* de Roberval, étudie (1), d'après le Dialogue de Galilée sur les grands systèmes du monde, les lois de la chute accélérée des corps pesants. La proposition X de la théorie qu'il expose est ainsi formulée : *Le plan estant incliné à l'horizon d'un angle donné, déterminer la force qui peut soutenir le poids donné sur ledit plan.* La démonstration donnée par Mersenne est exactement celle que Roberval donnera dans le même volume, un peu plus loin ; les figures employées sont les mêmes. Or, Mersenne fait suivre l'énoncé que nous venons de rapporter de cette remarque : « Je n'eusse pas ici mis cette proposition si elle eust esté en francais, et si le livret où elle est eust esté commun ; quoiqu'elle mérite d'estre en plusieurs lieux pour la grande utilité qu'on en peut tirer ».

Nous recevons de là confirmation que les démonstrations mécaniques de Roberval avaient été déjà publiées avant l'impression de l'*Harmonie universelle ;* mais nous

(1) Marin Mersenne, *Harmonie universelle. A. Traitez de la nature des sons, et des mouvements de toutes sortes de corps.* Livre second. Des mouvements de toutes sortes de corps. Paris, MDCXXXVI. Cette proposition, et le livre de l'*Harmonie universelle* qui la renferme, sont cités par Mersenne à la dernière page des *Méchaniques de Galilée*, c'est-à-dire dès 1634.

apprenons, en outre, que cette publication avait été faite en latin et que le livre qui la contenait était déjà fort rare en 1634.

Cette dernière circonstance explique comment nous n'avons pu trouver aucune mention de cet ouvrage dans les divers recueils bibliographiques mis à notre disposition, ni dans les divers catalogues de bibliothèques que nous avons pu consulter.

Mais il nous est permis d'affirmer que ce traité de Mécanique de Roberval existait dès 1634 et que Mersenne en avait dès lors connaissance. A cette époque, en effet, Mersenne publia *Les Méchaniques de Galilée*. En la Xe addition qui termine cet écrit, Mersenne traite de la pesanteur apparente sur un plan incliné « dont, dit-il, j'ay parlé fort amplement dans le dix et l'onziesme théoresme du second livre de l'Harmonie universelle ». L'exposé des démonstrations de Roberval était donc, dès cette époque, mis sous la forme où, en 1636, il devait paraître dans l'*Harmonie universelle*. Nous savons, d'ailleurs (1), que dès 1634, Mersenne travaillait à cet ouvrage.

La première rédaction des *Discorsi et dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, composée par Galilée en 1636 et imprimée chez les Elzévirs en 1638, ne se composait que de trois journées ; les trois dernières journées furent ajoutées par Galilée entre 1636 et le moment de sa mort ; elles parurent seulement en 1655, dans l'édition des œuvres de Galilée donnée par Viviani. Ces additions ont donc pu subir l'influence du *Traité de Mécanique* de Roberval. C'est peut-être à cette influence

(1) *Les Préludes de l'Harmonie universelle*, ou Questions curieuses, utiles aux prédicateurs, aux théologiens, aux astrologues, aux médecins et aux philosophes. Composées par L. P. M. M. (le Père Marin Mersenne). A Paris, chez Henry Guenon, ruë S. Jacques, près les Jacobins, à l'image S. Bernard. MDCXXXIV. — Préface au lecteur : « J'ay donné le nom de Préludes à ce Livre, parce qu'il a quasi le mesme rapport aux traitez de toutes les autres parties de la Musique que je donneray bientost avec l'ayde de Dieu que les préludes du luth... »

qu'il convient d'attribuer un passage par lequel se termine la *Giornata quarta.*

Galilée — ou Sagredo, qui parle en son nom — considère une corde sans poids AB (fig. 87) que tendent deux charges C, D, très considérables et égales entre elles. Il veut prouver que si l'on suspend au milieu de la corde AB un poids H, si petit soit-il, il fera prendre à la corde la forme d'une ligne brisée AFB et, par conséquent, soulèvera les deux poids C et D, si grands soient-ils.

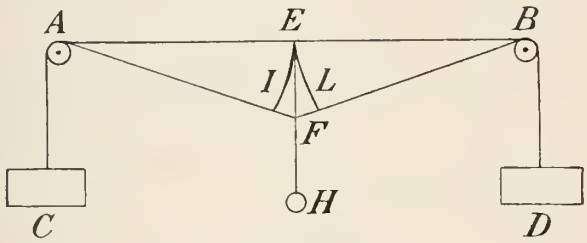


fig. 87.

Le poids H, en effet, descend de la longueur EF, tandis que les poids C, D montent de longueurs respectivement égales à IF, FL et égales entre elles. Or, on peut assurément prendre EF assez petit pour que le rapport de EF à IF surpasse le rapport du poids H au poids C. « Il y a donc plus grande proportion de la chute ou de la vitesse du poids H à l'ascension ou à la vitesse des poids C, D que de la gravité des poids C, D à la gravité du poids H ; il est donc manifeste que le poids H descendra et que la corde quittera la position horizontale. »

Si Galilée, en écrivant ce passage, connaissait le *Traité de Méchanique* de Roberval, il s'en faut de beaucoup qu'il ait égalé la belle démonstration que renfermait ce traité.

L'article que le *Dictionnaire historique et critique* de Bayle consacre à Roberval se réduit à ces seules lignes : « Roberval, Professeur en Mathématiques à Paris, contemporain de Mr Des Cartes, et son grand ennemi. »

L'animosité était grande, en effet, entre le philosophe et le professeur du Collège de France (1); le premier traitait le second avec un mépris et une violence dont nous trouverons des preuves au prochain Chapitre ; dès maintenant, citons cet extrait d'une lettre adressée par Descartes à Mersenne (2) :

« Je vous envoye ici quelques-unes des fautes que j'ai remarquées dans l'Aristarque, et je vous diray icy, entre nous, que j'ay tant de preuves de la médiocrité du sçavoir et de l'esprit de son autheur, que je ne puis assez admirer qu'il se soit acquis à Paris quelque réputation. Car enfin outre son invention de la roulette, qui est si facile qu'elle aurait pu estre trouvée par une infinité d'autres aussi bien que par luy, s'ils se fussent voulu employer à la chercher, je n'ay jamais rien veu de sa façon, qui ne puisse servir à prouver son insuffisance. »

La dureté d'un tel jugement diminue Descartes plus qu'elle n'abaisse Roberval ; celui-ci n'eût-il à son actif que le *Traité de Méchanique* — et il peut se réclamer d'autres titres — que son nom mériterait de vivre, car il y a démontré, et par deux voies différentes, la règle de composition des forces concourantes dont personne, avant lui, pas même Simon Stevin, n'avait publié de preuve convaincante, et dont tant de mécaniciens, après lui, ont fait un si fréquent usage.

Les dédains de Descartes à l'égard de Roberval étaient donc souverainement injustes ; Roberval, il est vrai, pouvait s'en consoler en lisant les compliments excessifs que lui adressait Mersenne ; car celui-ci déclarait (3) que son ami « le cédait à peine à Archimède ».

(1) Cf. : Paul Tannery, *La Correspondance de Descartes dans les inédits du fonds Libri*; Paris, 1893.

(2) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. IV (juillet 1643 à avril 1647), p. 391.

(3) F. Marini Mersenni, Minimi, *Tractatus mechanicus theoricus et practicus*. Parisiis, sumptibus Antonii Bertier, viâ Jacobeâ, sub signo Fortunæ, MDCXLIV, p. 47.

Chapitre XIV

LA STATIQUE FRANÇAISE *(Suite)* — RENÉ DESCARTES (1596-1650)

Le 8 septembre 1637, devant Breda, Constantin Huygens, père du grand géomètre Christian Huygens, écrivait (1) à Descartes :

« Peut-estre ne vous lairray point en repos, *donec paria mecum feceris*, et m'aurez favorisé d'un traicté de trois feuillets sur le subject des fondemens de la méchanique, et les 4 ou 5 engins qu'on y démonstre, *libra, vectis, trochleon*, etc. J'ai veu autrefois ce que Guido Ubaldo en a escrit, et, depuis, Galilæo, traduit par le P. Mersenne, mais l'un et l'autre à peu de satisfaction, m'imaginant que ces gens là ne font qu'envelopper de superfluités obscures une chose que je m'asseure que vous comprendrez en deux ou trois positions, n'y ayant rien, à mon sens, qui se tienne d'une si claire et nécessaire façon. »

A cette pressante demande de Constantin Huygens, Descartes répondait (2), le 5 octobre 1637 : « Pour ce que vous désirez des Méchaniques, il est vray que je ne fus jamais moins en humeur d'escrire que maintenant. » Toutefois, il joignait à sa lettre un petit traité intitulé : *Explication des engins par l'ayde desquels on peut, avec une petite force, lever un fardeau fort pesant*. En ce traité, la théorie de la poulie, du plan incliné, du coin, de la roue ou tour, de la vis, du levier est tirée tout entière d'un principe unique. Ce principe est le suivant : Le *travail* (Descartes dit la *force*) nécessaire pour élever des poids différents à des hauteurs différentes garde même

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et P. Tannery, Paris, 1897; *Correspondance*, t. I (avril 1622 à février 1638), p. 393.
(2) Id., *ibid.*, p. 435.

valeur lorsque le produit du poids par son ascension ne change pas.

Voici, du reste, en quels termes Descartes le formule :

« L'invention de tous ces engins n'est fondée que sur un seul principe qui est que la même force qui peut lever un poids, par exemple, de cent livres, à la hauteur de deux pieds, en peut aussy lever un de 200 livres à la hauteur d'un pied, ou un de 400 livres à la hauteur d'un demi-pied, et ainsy des autres, si tant est qu'elle luy soit appliquée.

» Et ce principe ne peut manquer d'estre receu, si on considère que l'effect doit estre tousjours proportionné à l'action qui est nécessaire pour le produire ; de façon que s'il est nécessaire d'employer l'action par laquelle on peut lever un poids de 100 livres à la hauteur de deux pieds, pour en lever un à la hauteur d'un pied seulement, cestuy-cy doit peser 200 livres. Car c'est le mesme de lever 100 livres à la hauteur d'un pied, et derechef encore 100 à la hauteur d'un pied, que d'en lever deux cent *(sic)* à la hauteur d'un pied, et le mesme aussy que d'en lever cent à la hauteur de deux pieds.

» Or les engins qui servent à faire cette application d'une force qui agist par un grand espace à un poids qu'elle fait lever par un moindre, sont la poulie, le plan incliné, le coin, le tour ou la rouë, la vis, le levier et quelques autres. Car si on ne veut pas les rapporter les uns aux autres, on peut en nombrer d'avantage ; et si on les y veut rapporter, on n'a pas besoin d'en mettre tant. »

Constantin Huygens reçut avec les marques de la plus vive admiration le petit traité de Statique que Descartes lui avait envoyé. « Je prie Dieu, disait-il (1), de vous inspirer à faire continuellement part au monde de vos escrits, puisqu'à vue d'œil ils sont destinés à le nettoyer

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. I (avril 1622 à février 1638), p. 461.

d'un déluge universel d'erreur et d'ignorance. Au reste, Monsieur, je prévoy qu'en ne pouvant me taire de ce que je possède de si précieux de vostre main, on m'en fera chaudement l'amour de tous costés. »

Une occasion se présentait, qui allait amener Descartes à donner une sorte de seconde édition au traité dont Constantin Huygens avait eu la primeur. Un livre de Jean de Beaugrand, dont nous aurons à traiter au Chapitre XVI, avait vivement attiré l'attention des géomètres sur ce problème : Le poids d'un corps varie-t-il avec sa distance à la terre ?

Le 13 juillet 1638, Descartes écrit à Mersenne (1) pour examiner « la question sçavoir si un corps pèse plus ou moins, estant proche du centre de la Terre qu'estant éloigné. » Dans cette lettre, il reprend sur nouveaux frais l'exposé du principe dont il a entretenu Huygens : « Et la preuve de cecy ne dépend que d'un seul principe qui est le fondement de toute la Statique, à sçavoir *qu'il ne faut ny plus ny moins de force, pour lever un cors pesant à une certaine hauteur, que pour en lever un autre moins pesant à une hauteur d'autant plus grande qu'il est moins pesant, ou pour en lever un plus pesant à une hauteur d'autant moindre*. Comme, par exemple, que la force qui peut lever un poids de 100 livres à la hauteur de deux pieds, en peut aussy lever un de 200 livres à la hauteur d'un pied, ou un de 50 à la hauteur de 4 pieds, et ainsy des autres, si tant est qu'elle leur soit appliquée.

» Ce qu'on m'accordera facilement, si on considère *que l'effect doit tousjours estre proportionné à l'action qui est nécessaire pour le produire, et ainsy que, s'il est nécessaire d'employer la force pour laquelle on peut lever un poids de 100 livres à la hauteur de deux pieds, pour en lever un à la hauteur d'un pied seulement, cela tesmoigne*

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery; *Correspondance*, t. II (mars 1638 à décembre 1639), p. 222.

que cestuy-cy pèse 200 livres. Car c'est le mesme de lever 100 livres à la hauteur d'un pied, et derechef encore 100 livres à la hauteur d'un pied, que d'en lever 200 à la hauteur d'un pied, et le mesme aussy que d'en lever 100 à la hauteur de deux pieds. »

Ce principe rend immédiatement compte du rapport qui existe entre le poids apparent d'un grave glissant sur un plan incliné et son poids réel ; la méditation des raisonnements que Galilée, dans ses *Méchaniques*, a développés touchant le plan incliné ont, sans doute, inspiré à Des-

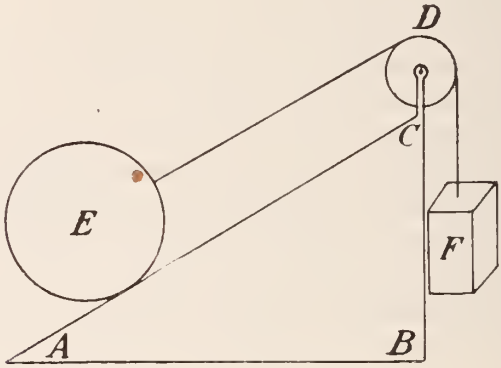


fig. 88.

cartes son principe général ; du moins, est-il permis de le supposer lorsque l'on rapproche les deux passages suivants :

Le premier, que nous avons déjà cité, se trouve dans le Traité *Della Scienza Meccanica*. Reproduisons-le ici d'après la traduction du P. Mersenne (1), alors toute récente, et dont l'auteur avait sûrement fait tenir un exemplaire à Descartes :

« F (fig. 88) ne fera pas moins de chemin en descen-

(1) *Les Méchaniques* de Galilée mathématicien et ingénieur du Duc de Florence, avec plusieurs additions.... Traduites de l'Italien par L. P. M. M. A Paris, chez Henry Guenon, MDCXXXIV, p. 57.

dant perpendiculairement que le poids E en montant obliquement, c'est pourquoy il est nécessaire que F descende plus bas qu'il ne fait monter le poids E, dont l'exaucement *(sic)* se mesure par la ligne perpendiculaire BC; de manière que la ligne de la descente de F sera égalée à CA, quand il aura fait monter le poids de B à C. Car le poids ne résiste pas au mouvement parallèle à l'orizon, parceque ce mouvement ne l'éloigne point du centre de la terre. C'est pourquoy il importe grandement de considérer les lignes dans lesquelles se font les mouvements, et particulièrement lorsqu'ils se font par des forces inanimées, dont les momens et les résistances sont en leur souverain degré dans la ligne perpendiculaire à l'orizon ; mais elles se diminuent à proportion que la ligne se panche sur le plan horizontal. »

Le second passage se trouve dans la lettre que Descartes écrivait à Mersenne le 13 juillet 1638 ; il fait suite à celui que nous rapportions il y a un instant :

« Et il suit évidemment de ceci que la pesanteur relative de chaque cors, ou ce qui est le mesme, la force qu'il faut employer pour le soutenir et empescher qu'il ne descende, lorsqu'il est en certaine position, se doit mesurer par le commencement du mouvement que devrait faire la puissance qui le soutient tant pour le hausser que pour le suivre s'il s'abaissait. En sorte que la proportion qui est entre la ligne droite que descriroit ce mouvement et celle qui marqueroit de combien ce cors s'approcheroit cependant du centre de la terre est la mesme qui est entre la pesanteur absolue et la relative. »

Entre ces deux passages, on n'aperçoit guère qu'une seule différence ; Galilée, qui a obtenu par d'autres considérations la théorie du plan incliné, fait de l'égalité entre le travail moteur et le travail résistant l'objet d'une sorte de corollaire ; Descartes y voit la cause même de l'équilibre entre un poids qui glisse sur un plan incliné et un poids qui pend verticalement. Lorsque, le 15 novembre

1638, Descartes écrit à Mersenne (1) : « Pour ce qu'a écrit Galilée touchant la balance et le levier, il explique fort bien *quod ita fit*, mais non pas *cur ita fit*, comme je fais par mon Principe », il établit sans doute en son esprit la comparaison même que nous venons de faire. Visiblement, c'est en ce point que la pensée de Descartes se soude à celle de Galilée.

La soudure est assez apparente, l'influence de Galilée assez visible pour que l'on ne puisse sans stupeur lire ces lignes, que Descartes écrivait (2) à Mersenne le 11 octobre 1638 :

« Et premièrement, touchant Galilée, je vous diray que je ne l'ay jamais vu, ny n'ay eu aucune communication avec luy, et que, par conséquent, je ne sçaurais en avoir emprunté aucune chose. Aussy ne vois-je rien en ses livres qui me fasse envie, ny presque que je voulusse avouer pour mien. »

L'orgueil sans mesure qui aveuglait Descartes ne lui laissait reconnaître les titres d'aucun de ses prédécesseurs.

Nous verrons avec quelle insolence hautaine il avait repoussé une réclamation de priorité en faveur de Roberval.

Stevin a conclu la théorie des moufles en formulant cet adage : La puissance est à la résistance comme le chemin décrit par la résistance est au chemin décrit par la puissance. C'est aux moufles que Descartes fait la première application de son principe, aussi bien dans l'*Explication des engins*, adressée à Huygens, que dans la copie envoyée à Mersenne. Cependant, Descartes ne cite pas Stevin. Et ce n'est point qu'il ignore l'œuvre du grand géomètre de Bruges ; le 13 juillet 1638, le jour même où il a envoyé sa Statique à Mersenne, Descartes lui écrit (3) : « Et je

(1) Descartes. *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. II (mars 1638 à décembre 1639), p. 433.

(2) Id., *ibid.*, p. 388.

(3) Id., *ibid.*, p. 247.

vous diray que, regardant par hazard ces jours passés en la Statique de Stevin, j'y ai trouvé le centre de gravité du conoïde parabolique. »

Ce corollaire, énoncé une seule fois par Stevin, Guido Ubaldo le répète à satiété, à propos de chaque sorte de moufle. Descartes ne cite pas Guido Ubaldo. Il connaît, cependant, ce que ce géomètre a dit des assemblages de poulies, car il écrit (1) à un mathématicien, qui est peut-être Boswell : « Dans la vis, il me paraît inepte de chercher à voir un levier ; si j'ai bonne mémoire, c'est la fiction dont use Guido Ubaldo. »

Mais s'il est un géomètre qui ait, longtemps avant Descartes, traité le problème du plan incliné exactement par la méthode que devait employer le grand philosophe français, c'est assurément ce mécanicien inconnu du XIIIe siècle que nous nommons le Précurseur de Léonard de Vinci. Au moment où Descartes compose sa Mécanique, la solution proposée par ce géomètre a été sept fois imprimée ; elle se trouve dans les cinq éditions successives des *Quesiti et inventioni diverse* de Nicolas Tartaglia, dans le recueil des *Opere* du même auteur, dans le *Jordani opusculum de ponderositate*, édité par Curtius Trojanus. Comment admettre que le philosophe n'ait feuilleté aucun de ces ouvrages ? Que le grand algébriste n'ait point jeté les yeux sur l'écrit où se trouvait la première résolution des équations du troisième degré ? Que le raisonnement, si clair et si profond, du mécanicien du moyen âge n'ait pas attiré son attention et n'ait pas exercé sur sa manière de traiter la Statique une profonde influence ? Cependant ni le nom de Jordanus, ni le nom de Tartaglia ne se rencontrent en ses traités de Mécanique. Stevin et Galilée, il est vrai, ne furent pas plus justes.

A supposer que Descartes ait ignoré tous les écrits où

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. IV, Additions, p. 696.

Tartaglia avait publié la doctrine de l'École de Jordanus, est-il possible d'admettre qu'il n'ait point connu le *Cours mathématique* d'Herigone ? En 1634, la commission chargée d'examiner les méthodes astronomiques de Morin met Herigone en rapport avec Étienne Pascal, Mydorge, de Beaugrand, trois géomètres qui ont avec Mersenne un continuel commerce ; c'est Clerselier qui, le 29 décembre 1633, a, au nom du Roi, accordé privilège au *Cours mathématique*. Peut-on croire que ni Mersenne, ni Clerselier n'aient songé à faire tenir à Descartes un exemplaire de cet ouvrage ? Descartes a donc dû en avoir communication ; il a dû y trouver, formellement énoncé, appliqué au levier et au plan incliné, le principe qu'il allait prendre pour fondement de sa Statique ; et ce principe, Herigone lui-même le tenait de l'École de Jordanus.

L'influence de Galilée se laisse reconnaître dans la solution que Descartes a donnée du problème du plan incliné ; elle se marque mieux encore en ce qu'il dit du levier ; en ce cas, comme dans le cas du plan incliné, son exposé est, en quelque sorte, l'exposé de Galilée pris en ordre inverse.

Si Descartes avait traité la puissance et la résistance qui se tiennent en équilibre par l'intermédiaire d'un levier comme deux poids pendus à ce levier, la démonstration de la condition d'équilibre bien connue ne lui eût causé aucune peine ; dès longtemps, Jordanus de Nemore avait tiré cette démonstration du principe même auquel Descartes rattache toute sa Statique. Cette démonstration de Jordanus d'ailleurs, Descartes en a donné une sorte d'aperçu, dans une lettre adressée sans doute à Boswell (1). Mais ce n'est point ainsi que Descartes considère l'équilibre du levier, ni dans l'*Explication des engins* qu'il envoie à Constantin Huygens, ni dans la Statique qu'il adresse à

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. IV, Additions, p. 694.

Mersenne. La résistance est toujours un poids pendu au levier, mais la puissance est sans cesse perpendiculaire au bras du levier; ainsi en est-il lorsque l'effort du bras soulève un faix au moyen du levier; c'est sous cette forme que Guido Ubaldo a traité du levier. Le problème alors se complique, et c'est pourquoi, dans l'*Explication des engins* adressée à Huygens, Descartes déclare (1) ceci :

« J'ay différé à parler du levier jusques à la fin, à cause

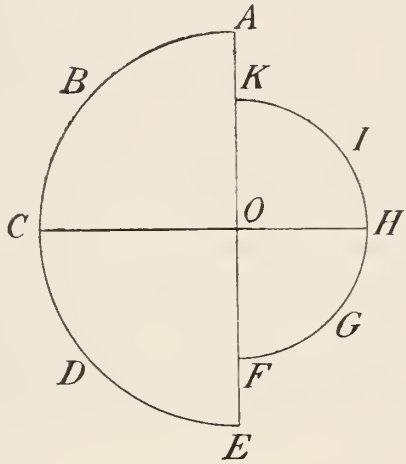


fig. 89.

que c'est l'engin pour lever les fardeaux le plus difficile de tous à expliquer.

» Considérons que, pendant que la force qui meut ce levier descrit tout le demi-cercle ABCDE (fig. 89) et agist suivant cette ligne ABCDE, bien que le poids descrive aussi le demi-cercle FGHIK, il ne se hausse pas toutefois de la longueur de cette ligne courbe FGHIK, mais seulement de la longueur de la ligne droite FOK. De façon que la proportion que doit avoir la force qui

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. I, p. 443.

meut ce poids à sa pesanteur, ne doit pas estre mesurée par celle qui est entre les deux diamètres de ces cercles, ou entre leurs deux circonférences, mais plus tost par celle qui est entre la circonférence du plus grand et le diamètre du plus petit. »

Ce passage, où se marquent des vues si profondes sur le travail d'une force de direction variable, ne fait connaître qu'une sorte de rapport moyen entre la puissance et le poids à soulever. La puissance, en effet, qui maintient un poids donné en équilibre varie avec l'inclinaison du levier : « Considérons outre cela qu'il s'en faut beaucoup que cette force n'ait besoin d'estre si grande pour tourner ce levier lorsqu'il est vers A ou vers E que lorsqu'il est vers B ou vers D... ; dont la raison que le poids y monte moins, ainsi qu'il est aysé à voir... »

» Et pour mesurer exactement qu'elle doit estre cete force en chasque point de la ligne courbe ABCDE, il faut sçavoir qu'elle y agist tout de mesme que si elle trainoit de poids sur un plan circulairement incliné, et que l'inclination de chacun des points de ce plan circulaire se doit mesurer par celle de la ligne droite qui touche le cercle en ce point. »

Dans tous ses écrits, Galilée avait admis comme évident qu'il revient au même, pour un poids, d'être astreint à se mouvoir sur une ligne inclinée ou sur un cercle tangent à cette ligne ; ce postulat lui avait permis de tirer la théorie du plan incliné de la notion de *moment* d'un poids. L'analyse qui avait conduit Roberval à justifier la loi du parallélogramme des forces reposait également sur ce postulat implicitement admis. Renversant la marche suivie par Galilée, Descartes tire la théorie de l'équilibre du levier de la loi du plan incliné, et il l'en tire en invoquant encore ce même postulat ; mais bien loin de le cacher, comme Roberval, sous le fatras compliqué d'une fausse rigueur, il s'efforce de le mettre en pleine lumière.

Lorsqu'on impose un déplacement à une machine par l'intermédiaire de laquelle deux poids se tiennent en équilibre, l'un d'eux monte et l'autre descend ; le travail effectué par le poids moteur est égal au travail subi par le poids résistant ; mais cette égalité n'a pas lieu quel que soit le déplacement, grand ou petit, que l'on impose au mécanisme ; elle n'est vraie, d'une manière générale, que pour un déplacement infiniment petit à partir de la position d'équilibre. Cette restriction essentielle, aucun des prédécesseurs de Descartes ne l'a nettement aperçue ; aucun, en tous cas, ne l'a explicitement énoncée.

Descartes la marque clairement. « La pesanteur relative de chaque cors, écrit-il à Mersenne, se doit mesurer par le commencement du mouvement que devrait faire la puissance qui le soutient, tant pour le hausser que pour le suivre s'il s'abaissait » ; et il ajoute (1) : « Notez que je dis *commencer à descendre*, non pas simplement *descendre*, à cause que ce n'est qu'au commencement de la descente à laquelle il faut prendre garde. » Un grave assujetti à se mouvoir sur une surface courbe qu'il touche en un point pourra donc être traité comme s'il glissait sur le plan tangent à cette surface en ce point : « En sorte que si, par exemple, ce poids F (fig. 90) n'estoit pas appuié au point D sur une superficie plate, comme est supposée ADC, mais sur une sphérique ou courbée en quelque autre façon, comme EDG, pourvu que la superficie plate qu'on imaginerait la toucher au point D fust la mesme que ADC ; il ne peserait ny plus ny moins, au regard de la puissance H, qu'il fait estant appuié sur le plan AC. Car, bien que le mouvement que feroit ce poids, en montant ou descendant du point D vers E ou vers G sur la superficie courbe EDG fust tout autre que celui qu'il feroit sur la superficie plate ADC, toutefois, étant

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery; *Correspondance*, t. II (mars 1638 à décembre 1639), p. 233.

au point D sur EDG, il seroit déterminé à se mouvoir vers le mesme costé que s'il étoit sur ADG, à sçavoir vers A ou vers C. Et il est évident que le changement qui arrive à ce mouvement, sitost qu'il a cessé de toucher le point D, ne peut rien changer en la pesanteur qu'il a, lorsqu'il le touche. »

Ce principe, les prédécesseurs de Descartes en ont fait usage ; Léonard de Vinci en a tiré la loi de la composition des forces ; grâce à lui, Galilée a pu ramener la théorie du plan incliné à la théorie du levier ; à l'aide du même artifice, Roberval a pu justifier les propositions

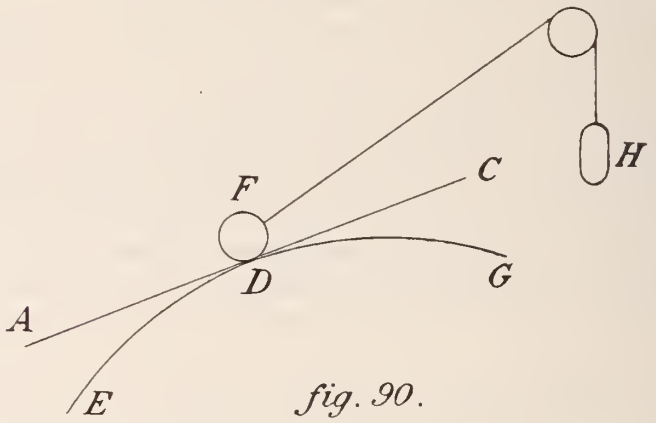


fig. 90.

que Stevin n'avait point suffisamment démontrées ; mais aucun de ces auteurs n'avait formulé d'une manière explicite et générale le postulat qui supportait leurs démonstrations.

Descartes est donc le premier qui ait nettement affirmé le caractère infinitésimal du principe des déplacements virtuels.

Au moment même où il adressait à Huygens l'*Explication des engins par l'ayde desquels on peut avec une petite force lever un fardeau fort pesant*, Descartes publiait le *Discours de la Méthode* ; assurément, en composant sa Mécanique, il avait fort présentes à l'esprit les

règles qu'il posait en ce Discours ; en formulant le principe d'où il tirait toute la Statique, il entendait bien se conformer au premier des préceptes qu'il avait posés ; ce précepte lui enjoignait « de ne recevoir jamais aucune chose pour vraie qu'il ne la connût évidemment être telle ; c'est-à-dire.... de ne comprendre rien de plus en ses jugements que ce qui se présenterait si clairement à son esprit qu'il n'eût aucune occasion de le mettre en doute ».

Cette clarté parfaite, cette évidence absolue, il les reconnaissait en son principe de Statique qui ne lui paraissait pas le céder en certitude aux vérités de l'Arithmétique : « La mesme quantité de force (1) qui sert à lever ce poids à la hauteur d'un pied ne suffit pas *eadem numero* pour le lever à la hauteur de deux pieds, et il n'est pas plus clair que deux et deux font quatre, qu'il est clair qu'il y en faut employer le double. »

Ce principe, cependant, ne fut pas admis d'emblée par tous ceux qui en eurent connaissance ; quelques-uns, et non des moindres, tels que Mersenne ou Des Argues, y trouvèrent des obscurités.

Ces obscurités provenaient surtout d'un malentendu. Descartes parlait de la force nécessaire pour soulever un poids à une certaine hauteur ; plusieurs de ses lecteurs entendaient ce mot *force* dans le sens où nous le prenons aujourd'hui ; Descartes, au contraire, désignait par ce mot une grandeur que mesure le produit du poids par la longueur dont il s'élève ou s'abaisse ; en d'autres termes, il lui donnait la signification que nous attribuons aujourd'hui au mot *travail ;* il s'étonnait et, parfois, s'irritait que cette confusion pût arrêter les géomètres et entraver leur adhésion à son principe.

Le 15 novembre 1638, il écrit à Mersenne (2) : « Vous

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. II (mars 1638 à décembre 1639): *Lettre à Mersenne* du 12 septembre 1638, p. 352.

(2) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. II (mars 1638 à décembre 1639), p. 432.

avez enfin entendu le mot force au sens que je le prens, quand je dis qu'il faut autant de force, pour lever un poids de cent livres à la hauteur d'un pied qu'un de cinquante à la hauteur de deux pieds, c'est-à-dire qu'il y faut autant d'action ou autant d'effort. Je veux croire que je ne m'estois pas cy-devant assez expliqué, puisque vous ne m'aviez pas entendu, mais j'estois si éloigné de penser à la puissance qu'on nomme la force d'un homme, lorsqu'on dit un tel a plus de force que tel, etc., que je ne pouvois aucunement me douter qu'on dûst prendre le mot de force en ce sens là. Et lorsqu'on dit qu'il faut employer moins de force à un effet qu'à un autre, ce n'est pas dire qu'il faille avoir moins de puissance, car encore qu'on en aurait d'avantage, elle ne nuit point ; mais seulement qu'il y faut moins d'action. Et je ne considérais pas en cet écrit la puissance qu'on nomme la force d'un homme, mais seulement l'action qu'on nomme la force par laquelle un poids peut estre levé, soit que cette action vienne d'un homme, ou d'un ressort, ou d'un autre poids, etc. Or il n'y a point, ce me semble, d'autre moyen de connoistre *à priori* la quantité de cet effet, c'est à dire combien et quel poids peut estre levé avec telle ou telle machine, que de mesurer la quantité de l'action qui cause cet effet, c'est à dire de la force qui doit y estre employée ; et je ne doute point que M. Des Argues ne l'accorde, s'il prend la peine de relire le peu que j'ay écrit sur ce sujet ; car comme je suis très assuré de la bonté de son esprit, je croy aussi ne devoir pas douter en cela de ma raison. »

L'impatience de n'être pas compris s'explique et s'excuse d'autant mieux chez Descartes que, dès le 12 septembre 1638, il avait, dans une lettre à Mersenne (1), défini avec une entière précision le sens qu'il attribuait au mot *force* et nettement séparé ce sens des autres significations que l'on peut attribuer au même mot.

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. II (mars 1638 à décembre 1639), p. 552.

« Il faut sur tout considérer, disait-il, que j'ay parlé de la force qui sert pour lever un poids à quelque hauteur, *laquelle force a tousjours deux dimensions*, et non de celle qui sert en chaque point pour le soutenir, laquelle n'a jamais qu'une dimension, en sorte que ces deux forces diffèrent autant l'une de l'autre qu'*une superficie diffère d'une ligne.* »

Le travail, que Descartes nomme *force*, dépend de deux variables ou, comme dit Descartes, a deux dimensions : la grandeur que nous nommons aujourd'hui *force*, qui est de même espèce que le poids, et une longueur, projection sur la force du chemin parcouru par le mobile ; ces deux variables peuvent être prises comme coordonnées rectangulaires d'un point figuratif ; le travail accompli par une force constante sera représenté par le rectangle de ces deux coordonnées. Cette représentation graphique du travail, si communément employée aujourd'hui, ne demeure pas inaperçue de Descartes : « Je ne dis pas simplement *que la force qui peut lever un poids de 50 livres à la hauteur de 4 pieds, en peut lever un de 200 livres à la hauteur d'un pied*, mais je dis *qu'elle le peut si tant est qu'elle luy soit appliquée*. Or est il qu'il est impossible de l'y appliquer que par le moyen de quelque machine ou autre invention qui face que ce poids ne se hausse que d'un pied, pendant que cete force agira en toute la longueur de quatre pieds, et ainsy qui transforme le rectangle par lequel est représentée la force qu'il faut pour lever ce poids de 200 livres à la hauteur d'un pied, en un autre qui soit égal et semblable à celuy qui représente la force qu'il faut pour lever un poids de 50 livres à la hauteur de 4 pieds. » Et, au cours de cette lettre à Mersenne, Descartes fait constamment usage de cette représentation géométrique du travail.

Ce que Descartes nomme la *force*, ce que nous nommons aujourd'hui le *travail*, est donc essentiellement distinct du *momento* considéré par Galilée ; cette dernière grandeur, produit d'un poids par une vitesse, dépend de trois sortes

de grandeurs variables, le poids, l'espace parcouru par le mobile, le temps employé à le parcourir. « Que si j'avais voulu joindre la considération de la vitesse avec celle de l'espace (1), il m'eust été nécessaire d'attribuer trois dimensions à la force, au lieu que je lui en ay attribué seulement deux, affin de l'exclure. »

Cette exclusion de la vitesse dans la formation de la grandeur dont dépend toute la Statique, d'aucuns la reprochaient à Descartes, invoquant l'autorité de Galilée ; mais Descartes repoussait dédaigneusement ces critiques mal fondées ; car, à l'imitation de Stevin, et peut-être sous son inspiration, il avait acquis l'assurance que la vitesse d'un

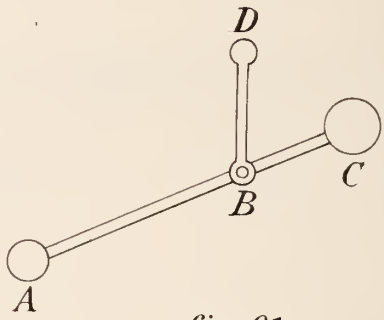


fig. 91.

mouvement n'est point proportionnelle à l'action motrice, et la conviction que cette antique loi péripatéticienne ne devait plus être prise pour fondement de la Statique. « Pour ceux qui disent (2) que je devais considérer la vitesse, comme Galilée, plustost que l'espace, pour rendre raison des machines, je croy, entre nous, que ce sont des gens qui n'en parlent que par fantaisie, sans entendre rien en cette matière. Et bien qu'il soit évident qu'il faut plus de force pour lever un cors fort viste, que pour le lever

(1) *Lettre de Descartes à Mersenne*, du 12 septembre 1638 (*Œuvres de* Descartes, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery, t. II, p. 352).
(2) *Ibid*, p. 433.

fort lentement, c'est toutesfois une pure imagination de dire que la force doit être justement double pour doubler la vitesse, et il est fort aisé de prouver le contraire. »

Cette attaque de Descartes au principe de la Dynamique péripatéticienne n'était pas, d'ailleurs, la première qu'il dirigeât à l'encontre de cet axiome ; peu de temps auparavant, il écrivait ces lignes (1) :

« La première chose dont on peut en cecy estre préoccupé, est que plusieurs ont coustume de confondre la considération de l'espace avec celle du tems ou de la vitesse, en sorte que, par exemple, au levier, ou ce qui est le mesme, en la balance ABCD (fig. 91), ayant supposé que le bras AB est double de BC, et que le poids en C est double du poids en A, et ainsy qu'ils sont en équilibre, *au lieu de dire que ce qui est cause de cet équilibre est que, si le poids* C *soulevait ou bien estoit soulevé par le poids* A, *il ne passeroit que par la moitié d'autant d'espace que luy*, ils disent qu'il iroit de moitié plus lentement, ce qui est une faute, d'autant plus nuisible qu'elle est plus mal aysée à reconnoistre ; car ce n'est point la différence de la vitesse qui fait que ces poids doivent estre l'un double de l'autre, *mais la différence de l'espace*, comme il paroist de ce que pour lever, par exemple, le poids F avec la main jusques en G, il n'y faut point employer une force qui soit justement double de celle qu'on y aura employée le premier coup, si on le veut lever deux fois plus viste, mais il y en faut employer une qui soit plus ou moins grande que le double, selon la diverse proportion que peut avoir ceste vitesse avec les causes qui lui résistent. »

Ces deux lettres n'ont assurément point suffi à convaincre ceux qui, dans l'entourage de Mersenne, tenaient pour la manière de voir de Galilée, c'est-à-dire, en der-

(1) *Lettre de Descartes à Mersenne*, du 12 septembre 1638 (*Œuvres de* Descartes, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery, t. II, p. 352).

nière analyse, pour l'antique fondement des Μηχανικὰ προβλήματα. Le 2 février 1643, dans une lettre (1) adressée au savant religieux, Descartes est obligé de revenir à la charge :

« Je viens à vostre seconde lettre que j'ay receue quasi aussy tost que l'autre ; et premièrement, pour ce qu'il vous plaist d'employer en vos escrits quelque chose de ce que j'ay escrit des Méchaniques, je m'en remets entière-

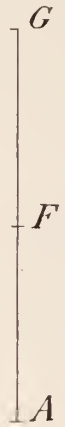


fig. 92.

ment à votre discrétion, et vous avez pouvoir d'en faire tout ainsy qu'il vous plairra ; plusieurs l'ont desja veu en ce païs, et mesme en ont eu copie.

» Or la raison qui fait que je reprens ceux qui se servent de la vitesse pour expliquer la force du levier, et autres semblables, n'est pas que je nie que la mesme proportion de vitesse ne s'y rencontre tousjours ; mais pourceque cette vitesse ne comprend pas la raison pour laquelle la force augmente ou diminuë, comme fait la quantité de l'espace, et qu'il y a plusieurs choses à consi-

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. III (janvier 1648 à juin 1643), p. 613.

dérer touchant la vitesse qui ne sont pas aysées à expliquer. Comme, pour ce que vous dites qu'une force qui pourra eslever un pois de A en F (fig. 92), en un moment, le pourra aussy eslever en un moment de A en G, si elle est doublée, je n'en voy nullement la raison. Et je croy que vous pourrez aysément expérimenter le contraire, si, ayant une balance en équilibre, vous mettez dedans le moindre poids qui la puisse faire trébuscher ; car alors elle trébuschera fort lentement ; au lieu que si vous y mettez le double de ce mesme poids, elle trébuschera bien plus de deux fois aussy viste. »

La force des adversaires de Descartes était évidemment tirée de cet argument :

Selon le grand philosophe, la puissance et la résistance, en une machine quelconque, sont entre elles comme les projections sur la verticale des deux chemins que l'agencement mécanique lie indissolublement l'un à l'autre ; mais ces deux chemins sont nécessairement décrits en même temps, en sorte que le rapport des composantes verticales de ces deux chemins est exactement le même que le rapport des composantes verticales des vitesses ; le rapport des deux poids qui se tiennent en équilibre peut indifféremment être égalé à l'inverse du premier rapport ou à l'inverse du second, comme Guido Ubaldo avait pris soin de le marquer en toutes circonstances. Dès lors, puisque la règle proposée par Descartes conduit certainement, dans tous les cas possibles, au même résultat que la règle formulée par Galilée, pourquoi abandonner la plus ancienne et la plus autorisée de ces règles ?

Descartes luttait avec persévérance contre cette opinion qui donnait, il est vrai, des propositions exactes de Statique, mais prétendait en rendre raison par de faux principes de Dynamique. En 1646 (?), nous le voyons encore écrire (1) à Boswell (?) : « Je ne nie pas la vérité

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. IV, Additions, p. 685.

matérielle de ce que les mécaniciens ont coutume de dire, à savoir que plus la vitesse de l'extrémité du long bras du levier est grande par rapport à la vitesse de l'autre extrémité, moins elle a besoin de force pour se mouvoir ; mais je nie que la vitesse ou la lenteur soit la cause de cet effet. »

Que l'on n'estime pas légère et de peu d'importance la modification apportée par Descartes à l'énoncé de Galilée ; grâce à cette modification, les lois de l'équilibre ne se tirent plus d'un postulat inexact ; elles ne reposent plus ni sur la Dynamique d'Aristote, qui est déjà condamnée, ni sur la Dynamique nouvelle, qui n'est point encore constituée ; la Statique devient une science autonome, qui découle tout entière d'un principe de certitude absolue et d'évidence immédiate. « Et si j'ai tesmoigné (1) tant soit peu d'adresse en quelque partie de ce petit escrit de Statique, je veux bien qu'on sache que c'est plus en cela seul qu'en tout le reste. Car il est impossible de rien dire de bon touchant la vitesse, sans avoir expliqué au vray ce que c'est que la pesanteur, et ensemble tout le système du monde. Or, à cause que je ne le voulais pas entreprendre, j'ai trouvé moyen d'omettre cette considération, et d'en séparer tellement les autres que je les peusse expliquer sans elle. »

Descartes avait lu la Statique de Stevin ; il ne pouvait ignorer l'importance de la règle selon laquelle se composent deux forces concourantes ; on est surpris qu'il n'ait point songé à tirer cette règle du principe sur lequel il a fondé sa Statique. On pourrait croire que, s'il ne l'a pas fait, c'est qu'il regardait le problème comme résolu. Nous avons vu, en effet, que Roberval avait su démontrer, de la manière la plus heureuse, la loi de composition des forces concourantes, en invoquant précisément l'axiome

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. II, p. 352 : *Lettre de Descartes à Mersenne* du 12 septembre 1638.

que Descartes allait formuler avec une entière généralité. Attribuer le silence de Descartes touchant la loi du parallélogramme des forces à la crainte de s'approprier une solution déjà obtenue par un autre géomètre, ce serait lui prêter des sentiments de justice qu'il ressentait rarement à l'égard de ses émules, qu'il n'éprouvait jamais envers Roberval.

Roberval avait élevé une réclamation de priorité au sujet du postulat qui portait toute la Statique de Descartes ; cette réclamation avait été, sans doute, formulée auprès de Mersenne qui l'avait fait connaître au philosophe ; celui-ci répondit (1) par une lettre dont il serait difficile de surpasser le ton de mépris et d'insolence : « Je viens de lire le Traitté de Mécanique du Sieur Roberval, où j'apprens qu'il est Professeur, ce que j'avois ignoré, et je pensois que vous m'aviez autrefois mandé qu'il estoit Président en quelque Province, et je ne m'estonne plus tant de son stile. Pour son Traitté, j'y pourrois trouver quantité de fautes, si je le voulois examiner à la rigueur. Mais je vous diray en gros qu'il a pris beaucoup de peine à expliquer une chose qui est bien aisée, et qu'il l'a rendue plus difficile par son explication, qu'elle n'est de sa nature ; outre que Stevin a demonstré avant luy les mesmes choses, d'une façon beaucoup plus facile et plus générale. Il est vray que je ne scay pas, ny de l'un ny de l'autre, s'ils ont esté exacts en leurs démonstrations, car je ne sçaurois avoir la patience de lire tout du long de tels livres. En ce qu'il dit avoir mis dans un Corollaire le mesme que moy dans mon Escrit de Statique, *aberrat toto Cœlo*, car il fait une conclusion de ce dont je fais un principe, et il parle du temps, de la vitesse au lieu que je parle de l'espace, ce qui est une très grande erreur, ainsy que j'ay expliqué en mes précédentes. »

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. II, p. 390 : *Lettre de Descartes à Mersenne* du 11 octobre 1638.

En cette lettre abondent les jugements injustes ; il y paraît que Descartes avait à peine daigné jeter un coup d'œil sur la très belle démonstration de Roberval, car celui-ci a toujours considéré le *chemin* parcouru par les divers poids, et nullement le temps ni la vitesse. Elle nous apporte du moins un renseignement précieux ; Descartes n'avait point eu la patience de lire avec soin les ouvrages de Stevin et de Roberval ; nous ne nous étonnerons donc pas de le trouver fort ignorant au sujet du problème de la composition des forces.

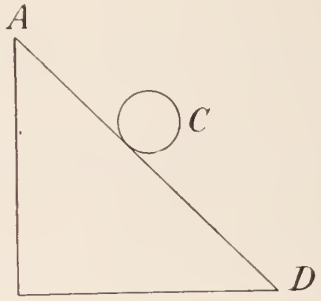


fig. 93.

De cette ignorance, il nous reste une preuve bien manifeste.

Le 18 novembre 1640, Descartes écrit à Mersenne (1) :

« Il est certain que le poids C (fig. 93) ne pèse, sur le plan AD, que la différence qui est entre la force qu'il faut à le soûtenir sur ce plan, et celle qu'il faut pour le soûtenir en l'air. Comme s'il pèse cent livres et qu'il n'en faille que quarante pour le soûtenir sur AD, ce plan AD en porte soixante seulement. »

Ainsi en 1640, Descartes croit encore que les deux composantes d'un poids ont pour somme algébrique ce

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. III (janvier 1640 à juin 1643), p. 243.

poids même ! L'orgueilleux philosophe aurait eu grand profit à lire avec plus de patience la *Statique* de Stevin et le *Traité de Méchanique* de Roberval ou, simplement, le *Cours mathématique* d'Herigone et les écrits de Mersenne.

La Statique de Descartes marque l'extrême aboutissant d'un long développement ; à la construction de cette doctrine ont concouru toutes les idées émises par les prédécesseurs du grand géomètre français ; mais en elle seulement, ces idées ont trouvé leur achèvement ; en elle, leurs désaccords apparents se sont fondus en une harmonieuse synthèse.

Complétant l'œuvre d'Aristote, de Léonard de Vinci et de Cardan, Galilée avait fondé la Statique entière sur un principe unique ; mais à ce principe fondamental, les esprits amis de la rigueur pouvaient, avec Stevin, opposer une grave objection : il n'était qu'un corollaire de la Dynamique péripatéticienne désormais condamnée.

A ces esprits, amis d'une certitude rigide et géométrique, la méthode de Stevin et de Roberval donnait une entière satisfaction, en constituant une Statique autonome, sauve de toute hypothèse empruntée à une Dynamique douteuse. Mais si nul géomètre n'était tenté de rejeter ou de laisser en suspens quelqu'un des postulats invoqués par le mécanicien de Bruges ou par le professeur du Collège de France, plusieurs pouvaient désirer qu'on les déduisît tous d'un axiome unique qui fût leur véritable raison d'être.

A tous ces besoins intellectuels, si divers, l'œuvre de Descartes donne satisfaction ; de la méthode de Galilée, elle garde l'ampleur et l'unité qui condensent toute la Statique en un principe unique ; de la méthode de Stevin, elle garde la rigueur, car son principe, d'une certitude et d'une évidence immédiates, n'emprunte rien aux doctrines dynamiques surannées.

La grandeur qui, dans la Statique de Descartes, joue

le rôle essentiel, le produit du poids d'un corps par la longueur dont ce corps s'est abaissé, a déjà été rencontrée par Stevin et par Galilée ; mais cette rencontre a été fortuite et passagère ; ni le géomètre belge, ni le géomètre italien n'ont signalé l'importance de cette grandeur ; l'École de Jordanus, Roberval et Herigone ont fait jouer un rôle essentiel, en certaines de leurs démonstrations, au produit du poids par son abaissement vertical, sans proclamer cependant que toute la Statique pouvait être ramenée à la comparaison de semblables produits ; Descartes, le premier, a vu en ce produit le concept fondamental de la Mécanique ; par là il est, sinon le véritable créateur, du moins le plus influent promoteur de la notion de *travail*, autour de laquelle pivote toute notre science actuelle de l'équilibre et du mouvement.

Ses efforts pour préciser cette notion de travail et la distinguer de la notion que Mersenne et Desargues confondaient avec elle ont contribué, pour une large part, à définir exactement la notion de *force*, telle que nous l'entendons aujourd'hui ; car c'est celle-ci qui hantait l'esprit de ses contradicteurs.

Descartes a saisi et marqué nettement le caractère infinitésimal du principe des déplacements virtuels ; il a affirmé, ce que nul n'avait explicitement énoncé avant lui, l'obligation d'appliquer toujours ce principe à un déplacement infiniment petit issu de l'état d'équilibre ; il en a conclu l'équivalence de liaisons qui correspondent à un même chemin virtuel infinitésimal ; par là, il a donné à ce principe sa forme définitive.

On objectera peut-être que la Statique dont il a tracé le plan manque de généralité ; il n'y considère d'autre force que des poids. Ce défaut de généralité n'est qu'apparent ; pour raisonner sur une force quelconque, tous les géomètres du XVIIe siècle, Stevin, Galilée, Roberval, la remplacent par un fil tendu dans la direction où elle doit agir, qui passe sur une poulie et soutient un poids égal à

la force que l'on doit exercer ; par cet artifice, la Statique des poids comprend la Statique tout entière. En fait, au moyen de cet artifice, un géomètre pourra, sans le moindre effort, tirer, du principe énoncé par Descartes, le principe des déplacements virtuels sous la forme même que Jean Bernoulli communiquera en 1717 à Varignon ; il est infiniment probable que ce procédé est celui-là même qui suggérera à Bernoulli sa découverte ; et lorsque Lagrange, dans sa *Mécanique Analytique*, le proposera comme un moyen propre à établir le principe des déplacements virtuels, il ne fera, sans doute, que reprendre la méthode de l'inventeur. En sorte que le principe formulé par Descartes renferme d'une manière implicite, mais toute prochaine, l'axiome duquel nous savons aujourd'hui déduire toutes les lois de la Statique.

La Statique de Descartes est donc le fruit mûr qu'a produit une longue végétation. Pour retrouver la graine d'où cette végétation est issue, il a fallu remonter bien haut le cours des temps ; il nous a fallu recueillir, à l'origine du XIIIe siècle, les enseignements de l'École de Jordanus. A partir de ce germe, engendré par la science occidentale en sa première jeunesse, nous pouvons suivre chacun des accroissements, chacune des transformations, par lesquelles la science de l'équilibre s'est graduellement développée. Et lorsqu'enfin elle parvient, en la Mécanique cartésienne, à donner son fruit mûr, nous pouvons marquer la provenance de chacune des enveloppes, de chacun des tissus qui composent ce fruit.

A la formation de cette Statique cartésienne, quelle a été l'exacte contribution de Descartes ? Il lui a donné, assurément, l'ordre et la clarté qui sont l'essence même de sa méthode, qui caractérisent si parfaitement son génie éminemment français. Mais, non content d'imposer une forme à la science de l'équilibre, le grand philosophe en a-t-il accru la matière ? Y a-t-il ajouté quelque vérité inconnue avant lui ? D'un tel apport, nous chercherions en

vain la trace. En la Statique de Descartes, il n'est aucune vérité que les hommes n'aient connue avant Descartes.

Aveuglé par son prodigieux orgueil, Descartes ne voit qu'erreurs dans les œuvres de ses prédécesseurs et de ses contemporains. Il croit (1) que les difficultés rencontrées par ceux qu'inquiètent les problèmes d'équilibre « ne vienent pour la pluspart que de ce qu'on est desjà trop sçavant aux Méchaniques, c'est à dire, de ce qu'on est trop préoccupé des principes que prennent les autres touchant ces matières, lesquels n'estant pas du tout vrais, trompent d'autant plus qu'ils semblent plus l'estre ». Il laisse complaisamment Constantin Huygens lui affirmer (2) que « ses escrits sont destinés à nettoyer le monde d'un déluge universel d'erreur et d'ignorance ». Il est assurément convaincu qu'il connaît seul les vrais fondements de la Statique et qu'il les a bâtis de toutes pièces, sur un sol déblayé par sa critique de toutes les caduques bicoques que les autres géomètres y avaient élevées. A cette inconscience superbe, on se prend à appliquer cette pensée de Pascal (3) :

« Certains auteurs, parlant de leurs ouvrages, disent : Mon livre, mon commentaire, mon histoire, etc. Ils sentent leurs bourgeois qui ont pignon sur rue, et toujours un « chez moi » à la bouche. Ils feraient mieux de dire : Notre livre, notre commentaire, notre histoire, etc., vu que d'ordinaire il y a plus en cela du bien d'autrui que du leur. »

(A suivre.) P. Duhem.

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. II, p. 354 : *Lettre à Mersenne* du 12 septembre 1638.

Id., *ibid.*, t. I, p. 461 : *Lettre de Constantin Huygens*, du 23 novembre 1637.

(3) Pascal, *Pensées*, Édition Havet, Art. XXIV, n° 68.

L'ÉPURATION DES EAUX RÉSIDUAIRES

Entre tant de problèmes dont la solution intéresse la santé publique, l'épuration des eaux résiduaires surtout préoccupe en ce moment les hygiénistes. Son importance seule justifierait cette faveur ; mais il s'y joint un intérêt d'actualité, en Belgique du moins où les pouvoirs publics sont aux prises avec les difficultés que soulève ce problème à Bruxelles et dans deux villes importantes de province, Ostende et Namur. Là, et ailleurs, se pose et se discute cette question : A quel système d'épuration convient-il de donner la préférence ?

Notre but n'est pas de tenter de répondre explicitement à cette question. Sans doute, parmi les systèmes que l'on préconise, tous n'ont ni une égale efficacité, ni les mêmes avantages, et à qui ne les considère qu'au point de vue scientifique le choix peut paraître s'imposer. Mais à une supériorité théorique incontestable s'associent souvent de sérieux inconvénients dès que l'on envisage, comme il convient, les conditions locales d'application et d'installation, et leurs conséquences économiques. De cet ensemble d'éléments d'ordre divers, résulte un problème très complexe dont la solution pratique, dans chaque cas particulier, réclame l'intervention de compétences multiples et variées.

C'est du point de vue théorique surtout et dans des considérations générales que nous nous proposons d'exposer brièvement l'état actuel de cette question. Nous dirons quelques mots de la canalisation, destinée à l'évacuation des eaux résiduaires, et de la composition moyenne de

celles-ci. Nous les suivrons jusqu'au fleuve où on les déverse et dont nous étudierons l'auto-épuration. Enfin, et ce sera la partie principale de cet article, nous décrirons les procédés d'épuration artificielle, en usage aujourd'hui.

Canalisation

L'invention des égouts n'est pas de date récente, l'antiquité n'a pas ignoré leur utilité et en a construit de prodigieux.

Il existait, dit-on, à Jérusalem, un système de canaux souterrains très bien aménagés, qui recueillaient les eaux usées du Temple et de son voisinage pour les conduire dans deux bassins étanches, communiquant entre eux et placés à des niveaux différents. Dans le premier se déposaient les matières solides en suspension, riches en éléments fertiles que l'on vendait aux cultivateurs de la vallée du Cédron. Dans le second s'écoulaient les liquides clarifiés qui servaient à l'irrigation des jardins et des prairies.

Rome surtout réalisa, en ce genre, de véritables chefs-d'œuvre. L'égout collecteur qui partait du Forum et débouchait dans le Tibre avait une largeur de 5 mètres et une hauteur de $8^{m},20$. Sa voûte mesurait $1^{m},80$ d'épaisseur ; son radier était formé de larges pierres plates, longues d'environ 2 mètres, ce qui réduisait le nombre des joints et prévenait le danger d'infiltration du sous-sol. De distance en distance, s'ouvraient des *regards* destinés à recevoir la poussière et la boue des rues. On y versait aussi le trop-plein des aqueducs et des réservoirs d'eau alimentaire. Les *chasses d'eau* ne sont donc pas, on le voit, d'invention moderne.

Un défaut déparait ces utiles constructions : l'insuffisance de la pente qui rendait leur bon entretien très onéreux. On le négligeait parfois quand la guerre amenait

d'autres soucis et réclamait d'autres dépenses, et l'envasement s'ensuivait. Denys d'Halicarnasse rapporte qu'une mésaventure de ce genre exigea un curage général qui coûta 1000 talents — de 4 à 5 millions de francs — au trésor public. Pour faire face à pareilles dépenses, il fallut recourir à un nouvel impôt. La besogne elle-même fut confiée aux criminels et aux prisonniers et leur valut le nom de *canalicolae*.

Si ces installations gigantesques témoignent en faveur des conceptions pratiques des Romains, elles attestent aussi leur merveilleux talent dans l'art de construire. C'est ce même collecteur qui, actuellement encore, charrie au Tibre les eaux résiduaires d'une grande partie de la Rome moderne.

L'empire dota d'installations semblables d'autres villes importantes ; mais après sa chute, on méconnut bientôt les exigences de l'hygiène publique. Le mal ne fit que s'aggraver jusqu'au moyen âge où il fut porté à son comble. On rapporte qu'à cette époque les villes elles-mêmes n'étaient souvent que de véritables cloaques, sillonnés de rues étroites et tortueuses, où la boue infecte tenait lieu de pavé et le fossé d'égout, et que la pénurie d'eau alimentaire convenable rendait plus insalubres encore. Aussi la peste, le choléra, le typhus s'y donnaient-ils carrière ! Le remède enfin sortit de l'excès du mal. Les épidémies qui décimaient sans trêve les populations provoquèrent le réveil des préoccupations hygiéniques.

Il est vrai que les premiers essais d'assainissement n'eurent souvent que des résultats médiocres et parfois désastreux. Les égouts improvisés, faits de tronçons disjoints et construits au hasard, bien loin d'enrayer le mal l'aggravèrent en maints endroits, en contaminant plus efficacement le sous-sol et les eaux alimentaires. Le progrès fut en somme très lent à se produire, et il faut attendre l'époque moderne pour voir les règles de l'hygiène publique nettement formulées et intelligemment prati-

quées. Il est juste de rendre aux Anglais ce témoignage qu'ils ont le mieux étudié ces questions capitales.

Aujourd'hui les égouts sont des travaux d'art, construits dans des conditions bien déterminées qui assurent l'écoulement rapide des eaux usées et leur transport loin du sol habité. On en rencontre de trois systèmes, les types *unitaire*, *séparatif* et *mixte*.

Le système séparatif ne reçoit que les eaux-vannes, les eaux domestiques et celles des toits. On en exclut les eaux des rues, celles qu'y verse la pluie et celles qu'on emploie au lavage et à l'arrosage. Le système unitaire au contraire recueille à la fois toutes ces eaux et parfois même les eaux industrielles et souterraines. Les matières et les immondices solides en sont seuls exclus.

Jusqu'en ces derniers temps, le système unitaire emportait tous les suffrages. Aujourd'hui on revient de cette faveur exclusive et, sous l'impulsion du dernier Congrès d'Hygiène de Bruxelles, on tend à la partager également entre le système unitaire et le système séparatif, sauf à discuter, dans chaque cas particulier, les conditions locales qui fixeront les préférences.

Nous n'entrerons pas au détail de la description d'un *réseau d'égouts* ; quelques indications sommaires suffiront à notre but.

Les canaux qui le constituent sont tous souterrains, mais tous n'ont pas les mêmes dimensions. Le plus vaste d'entre eux, l'*émissaire*, totalise les eaux résiduaires et les conduit au fleuve ou aux champs d'épuration. Ses affluents sont les *collecteurs* qu'alimentent les *égouts* ; ceux-ci courent les rues pour en recueillir les eaux et celles des maisons qui les bordent.

Tous ces canaux doivent avoir une pente suffisante pour prévenir la stagnation. Leur cuvette est de forme ovoïde et leurs parois sont imperméables. L'ensemble doit être bien ventilé et pourvu de *chasses d'eau*, afin que les

matières solides qui y sont projetées soient rapidement emportées sans laisser s'accumuler de dépôts.

Dans les grands canaux, on distingue deux parties : le *dôme* qu'il faut rendre très solide, et le *fondement* dont il faut assurer l'imperméabilité : c'est pour cela qu'on le fait en briques ou en grès émaillé, en béton simple ou en béton armé. Les canaux de moindres dimensions peuvent être formés de tuyaux en porcelaine soigneusement rejointoyés au ciment.

Composition des eaux résiduaires

La composition des eaux résiduaires varie évidemment beaucoup suivant les circonstances. Il ne peut donc être question d'en fixer ici les éléments d'une façon absolue. On doit dire toutefois — et ceci est le point essentiel — que ce qui les caractérise toujours c'est leur teneur très élevée en substances organiques et en germes de toutes espèces. Elles sont donc toujours éminemment putrescibles et, dès lors, capables de polluer gravement les cours d'eau où on les déverse et qui n'auraient pas un débit suffisant.

En même temps que ces substances organiques, on y trouve en dissolution de nombreux sels minéraux et, en suspension, une foule de matières insolubles telles que la terre, le sable, les scories, le bois, etc. Manifestement cet ensemble constitue un milieu de culture excellent pour la gent microbienne ; aussi l'y trouve-t-on toujours très abondamment représentée.

Voici, d'après Miquel, la composition des eaux résiduaires de Paris.

En milligrammes par litre

Matières organiques	Nitrates	Ammoniaque	Chlore	Germes au cm³
285	2,2	13,5	48	27 000 000

Grâce à l'obligeance de M. Van Cutsem, ingénieur de la ville, nous avons pu nous procurer un échantillon des eaux résiduaires de Namur, prélevé dans le collecteur qui passe aux environs de l'abattoir communal. Voici les résultats que nous a donnés son analyse.

En milligrammes par litre

Matières organiques dissoutes	Nitrates	Ammoniaque	Chlore	Germes au cm³
166	2	20,5	232	4 100 000

L'excès de matières organiques est évident et le nombre des bactéries énorme. Heureusement tous ces microbes ne sont point pathogènes ; beaucoup d'entre eux ne sont que d'inoffensifs saprophytes. Il en est sans doute ainsi en temps ordinaire ; mais aux jours d'épidémie, surtout quand la contagion se propage par l'eau, les microbes malfaisants peuvent s'y multiplier au point de créer un véritable danger. Au cours de l'épidémie de choléra qui sévit à Namur en 1894, il n'est pas douteux que les eaux d'égout n'aient introduit dans la Meuse quantité de germes pathogènes ; d'où pollution manifeste, d'autant plus grave que le fleuve, au moment de cette invasion, charriera moins d'eau. Tel serait le cas, pour la Meuse, aux époques de *chômage*.

C'est ce qui a lieu en tout temps pour la Senne. Bruxelles déverse, chaque jour, de 80 000 à 85 000 mètres cubes d'eaux résiduaires dans cette rivière qui ne charrie elle-même que 87 000 mètres cubes d'eau de dilution. Son cours grossit de moitié, près de Haeren, après avoir reçu l'affluent des égouts de la capitale ; mais c'est pour se transformer en un cloaque à ciel ouvert, débordant d'eau boueuse et putride.

Avant l'application des procédés d'épuration artificielle, Londres envoyait ses eaux résiduaires à la Tamise. Un égout collecteur les conduisait à 30 kilomètres en aval de la grande ville, et les déversait dans le fleuve à un endroit

où sa largeur mesure de sept à huit cents mètres. Même dans ces conditions, ses eaux se contaminaient de façon inquiétante, et c'est là ce qui détermina le recours aux procédés d'épuration.

Nous pourrions multiplier ces exemples ; mais est-il bien nécessaire d'insister sur un fait dont l'évidence saute aux yeux : les eaux résiduaires sont surchargées d'éléments organiques ; leur déversement, sans épuration préalable, dans le lit d'une rivière ou d'un fleuve est d'autant plus pernicieux que les eaux courantes y sont moins abondantes. S'il s'agit de cours d'eau navigables, soumis à des chômages périodiques, il faut tenir compte de ces circonstances si l'on veut qu'à ces époques de débit restreint leurs eaux ne soient pas empoisonnées par les égouts qui, eux, ne tarissent pas.

En général, on estime que la quantité d'eau charriée par le fleuve ne doit pas être inférieure à seize fois celle qu'y déversent les égouts, pour qu'on puisse en accepter impunément le mélange.

L'auto-épuration des fleuves

On s'étonnera peut-être de voir les hygiénistes souscrire à pareille concession. C'est qu'ils comptent, pour en annuler ou en amoindrir les conséquences fâcheuses, sur un phénomène spontané, très intéressant, que l'on a appelé *l'auto-épuration des fleuves*.

Comme son nom l'indique, ce phénomène résulte de la propriété que possèdent les fleuves de se débarrasser spontanément des matières nocives qui contaminent leurs eaux. Le mécanisme de cette auto-épuration n'est pas sans mystère ; mais on a pu déterminer quelques-unes des causes principales qui concourent à la produire.

Il faut l'attribuer avant tout à l'action de l'oxygène dissous abondamment dans les eaux courantes. Il y a, en

effet, dans les eaux résiduaires quantité de substances organiques facilement oxydables, les microbes entre autres, qui seraient attaquées et détruites par cet oxygène dissous.

D'autre part, la sédimentation joue aussi son rôle ; car cette précipitation continue des matières en suspension dans l'eau entraîne nécessairement un grand nombre de germes et une quantité considérable de matières organiques insolubles. Il en résulte, sinon l'épuration du fleuve, au moins la clarification de ses eaux.

Ajoutons à cela l'intervention plus efficace des poissons qui dévorent quelques-unes de ces substances organiques, sans compter celle des nombreux animalcules des eaux courantes, celle des plantes vertes et autres, celle des microbes eux-mêmes, qui prennent part à ce travail d'épuration par destruction.

Enfin, il faut compter aussi sur la dilution de plus en plus forte des eaux contaminées à mesure qu'elles s'éloignent de leur lieu d'origine, surtout si le débit du fleuve est relativement abondant et si sa vitesse l'emporte sur celle des eaux qu'y mêlent les collecteurs.

Pratiquement, l'épuration des eaux d'un fleuve est achevée lorsque celles-ci ont repris, en aval, au triple point de vue chimique, bactériologique et microscopique, les propriétés qu'elles avaient, en amont, avant leur pollution.

Voici quelques chiffres empruntés à Miquel, et qui ont trait à l'auto-épuration bactériologique des eaux de la Seine, après leur passage à travers Paris.

La Seine, à Choisy-le-Roi, avant son entrée à Paris contient 39 000 microbes par cm^3.

On en trouve :

Au Point-du-Jour	:	200 000
à Saint-Denis	:	1 000 000
à Bezons	:	2 000 000

Au delà de Paris,

Pont-de-l'air	:	70 000
Vernon	:	39 000
Les Andelys	:	36 000

En résumé, différentes analyses, faites avant l'installation des champs d'épandage, ont montré que ce n'était qu'à 70 kilomètres de Paris que la Seine se trouvait complètement épurée.

Pour l'Oder, qui traverse Breslau, l'épuration n'est réalisée qu'à 32 kilomètres en aval de la ville.

Un exemple qui nous touche de plus près nous intéressera davantage. Nous avons entrepris des analyses semblables des eaux de la Meuse et de la Sambre, avant leur entrée à Namur, pendant leur traversée et après leur sortie. Ces analyses ont été faites toutes au cours de la même semaine et pendant une période relativement sèche. Leurs résultats sont groupés dans le tableau suivant. On y trouvera, sinon la preuve absolue, qu'il faudrait demander à la répétition de nombreux essais, au moins l'indication très nette des faits que voici : les eaux de la Meuse, avant leur entrée en ville (Pairelle), sont relativement pures. Par contre, les eaux de la Sambre entrent en ville déjà très polluées. Malgré sa contamination par cette rivière, et en dépit des quatre à cinq mille mètres cubes d'eaux résiduaires qu'elle reçoit en vingt-quatre heures, la Meuse s'épure très rapidement, grâce à son débit élevé et à la grande quantité d'oxygène que ses eaux contiennent en dissolution.

La Meuse

avant son entrée en ville

	En milligrammes par litre				*Au cm³*
	Matières organiques (en oxygène)	Nitrates	Ammoniaque	Chlore	Microbes
A La Pairelle	2	traces	0,0	11	1 200

La Sambre

avant son entrée en ville et au confluent

	En milligrammes par litre				*Au cm³*
	Matières organiques (en oxygène)	Nitrates	Ammoniaque	Chlore	Microbes
Gueule du Loup (avant Namur)	7	3	5	127	33 000
Au Confluent (en ville)	8,5	2	5	133	40 000

La Meuse

Abattoir	4,5	traces	5,0	43	18 000
Pont du Luxembourg (en aval)	2,9	traces	traces	27	8 500
Grands Malades	2,2	3	0,0	25	6 000
Beez	2,4	2	0,0	32	3 000
Marche-les-Dames	2,3	4	0,0	22	5 200

Procédés d'épuration

Abordons maintenant, pour y insister davantage, l'exposé des procédés d'épuration. Nous supposerons que les eaux résiduaires que l'on veut soumettre à leur traitement ne contiennent pas d'*eaux industrielles* ; il en est ainsi pour Bruxelles, Ostende et Namur.

Nous avons vu que les eaux résiduaires sont caractérisées surtout par un excès de substances organiques en dissolution et en suspension. Tout procédé d'épuration devra donc tendre avant tout à les en débarrasser le plus parfaitement possible. Ce but serait atteint si l'on parvenait à transformer ces substances de telle façon que les produits de cette transformation fussent inoffensifs. *Épurer*, dans le sens moderne du mot, ce sera donc désintégrer la matière organique et la réduire en éléments désormais imputrescibles. Voilà l'idéal à poursuivre ; s'il est malaisé de l'atteindre, on peut du moins s'en approcher en recourant aux procédés que nous allons décrire.

Rappelons d'abord, pour mémoire, les plus anciens et aussi les plus imparfaits, les procédés *physiques*, dont on ne se contente plus aujourd'hui.

Ils consistaient à accumuler les eaux résiduaires dans de vastes réservoirs où elles séjournaient jusqu'à clarification notable par décantation. On ouvrait alors les vannes supérieures, et le liquide passait à la rivière laissant au fond des réservoirs un dépôt considérable de boues complexes. Pareil traitement n'*épure* rien évidemment, il clarifie tout simplement. C'est un trompe-l'œil : l'eau évacuée, en dépit de sa limpidité relative, emporte avec elle de nombreuses substances organiques, toutes celles entre autres qu'elle contenait en dissolution, et la plupart des germes qui la souillaient. Ajoutez à cela l'accumulation de boues putrides qui devient rapidement encombrante et témoigne éloquemment que le problème n'est pas résolu.

Il y a quelques années, des essais ont été tentés en vue d'ajouter à la clarification que donnent les procédés physiques, l'épuration réelle par ozonisation. L'ozone est, en effet, un antiseptique parfait et un excellent dépurateur. En le produisant industriellement, sous l'action de puissants effluves électriques, on pourrait, par des moyens appropriés, amener l'air qui en serait abondamment chargé, à traverser tumultueusement la masse des eaux contaminées. Théoriquement, le remède est sans doute excellent ; mais son prix de revient est trop élevé pour qu'on puisse songer actuellement à l'introduire dans la pratique, si ce n'est peut-être dans quelques cas particuliers.

Parmi les procédés consacrés par l'usage, les plus nombreux sont ceux que fournissent les *réactions chimiques*. D'une façon générale, ils aboutissent à précipiter les substances coagulables, telles que les albumines dissoutes, et à entraîner dans les boues sédimentaires les substances en suspension. Les réactifs qu'on y emploie varient beaucoup ; ce sont, le plus souvent, des laits de

chaux, des sulfates de fer ou d'alumine, des chlorures ou des hypochlorites alcalins. Quels qu'ils soient, la technique, dans ses traits généraux, repose sur les mêmes principes et les installations sont semblables.

Elles comprennent un *dépôt de sable* où les eaux abandonnent, en gros, les matières insolubles dont elles sont chargées. Les eaux passent de là dans la *chambre aux mélanges* où elles subissent l'action des réactifs. Enfin, elles séjournent pendant un certain temps dans les *bassins à clarifier* où se déposent les matières coagulées et celles qui sont entraînées par précipitation.

Tel est le procédé qui fonctionne actuellement à Francfort-sur-le-Mein, dans une installation grandiose qui coûte à la ville annuellement 1,25 fr. environ par habitant.

Ces procédés chimiques donnent d'assez bons résultats, à la condition toutefois d'y employer les réactifs en quantités suffisantes, et de laisser aux précipitations le temps de se produire. Alors toutes les substances coagulables et toutes les matières en suspension sont réellement entraînées dans les dépôts boueux des bassins à clarifier ; l'eau qui en sort est limpide et *partiellement* débarrassée des substances organiques qui la souillaient à son entrée à l'usine.

Mais — nous venons de le dire — l'épuration reste incomplète. Il n'y a rien là qui doive surprendre. Tout ce travail ne diminue, en effet, que dans une faible proportion la quantité des matières organiques *en dissolution*. Or, nous l'avons vu, celles-ci abondent dans les eaux d'égout. Aussi, dès que les réactifs chimiques sont suffisamment dilués dans le lit de la rivière, la putréfaction ne tarde-t-elle pas à se manifester.

A cela se joint l'inconvénient que crée l'accumulation des précipités boueux. On avait compté, pour s'en défaire, sur l'intervention des agriculteurs, et on espérait même retirer certains bénéfices de la vente de ces produits

encombrants. Au rebours, la plupart des villes qui ont caressé cette illusion n'ont rencontré que des déboires. Personne ne s'en étonnera. L'usage des engrais chimiques a fait tort au commerce des boues. Le cultivateur intelligent sait qu'il trouvera, dans ces engrais, sous le faible poids de 100 kilos, la même quantité d'azote qu'il demanderait à trois ou quatre mille kilos de boues sèches. En dehors de circonstances très spéciales, son choix se devine : il apportera à la fabrique d'engrais chimiques les bénéfices sur lesquels avait compté l'usine d'épuration où l'offre, en tout cas, dépassera de beaucoup la demande. Cette circonstance, jointe à la dépense considérable qu'entraîne l'achat des réactifs, fait de l'emploi de ces procédés chimiques, des entreprises souvent très onéreuses. L'exemple de la ville de Francfort que nous rappelions plus haut en est une preuve entre plusieurs autres.

Toutefois des conjonctures se présentent où le recours à ces procédés s'impose. Il en est ainsi lorsque les eaux résiduaires que l'on prétend épurer contiennent des résidus industriels qu'il faut transformer avant de pouvoir faire appel aux procédés d'épuration proprement dits. Il en est ainsi encore lorsque le manque de place ou toute autre circonstance locale rend impossible l'emploi de procédés différents.

Un exemple du premier cas nous est fourni par l'Espierre. Ce cours d'eau reçoit, en traversant Roubaix, les eaux de lavage des laines et se charge ainsi de fortes quantités de graisses dont il faut avant tout le débarrasser. M. Delattre, qui a beaucoup étudié cette question, paraît l'avoir résolue : on précipiterait la boue et les graisses que charrie l'Espierre au moyen de l'acide sulfurique joint au sulfate ferrique ; le précipité serait épuisé par des dissolvants qui s'empareraient des graisses ; enfin, la distillation des dissolvants isolerait celles-ci et les rendrait au commerce.

Sans nous étendre davantage sur ces cas spéciaux, venons-en aux *procédés biologiques* qui, aux réactions chimiques, substituent des réactions vitales. C'est au travail des infiniment petits, aux microbes, en effet, que l'on demande ici la désintégration des matières organiques et leur minéralisation définitive. Théoriquement, aucun autre procédé ne peut prétendre à de meilleurs résultats ; car, dans de bonnes conditions d'installation et de fonctionnement, on peut être certain que les microbes n'abandonneront la tâche qui leur est confiée que quand il ne restera plus trace de substances organiques à transformer.

Le sol est le laboratoire naturel où s'accomplit sans cesse, et sans qu'on y prenne garde, ce merveilleux travail d'assainissement. La nature y pourvoit en multipliant les espèces microbiennes auxquelles elle délègue le soin de désagréger toute substance organique, animale ou végétale, que la vie vient d'abandonner. Les uns sont des microbes aérobies, qui empruntent à l'air l'oxygène dont ils ont besoin ; les autres, des microbes anaérobies qui l'enlèvent aux substances mêmes qu'ils décomposent. Le nombre suppléant ici à la taille, ces chimistes infiniment petits réalisent leur œuvre avec une rapidité prodigieuse et une perfection idéale. Le cadavre d'un animal gît-il sur le sol, aussitôt une première escouade de microbes croque-morts s'en empare : voici que les tissus se désagrègent ; toutes ces substances organiques de solides qu'elles étaient se résolvent peu à peu, changent de nature et deviennent peptones, sels ammoniacaux, ammoniaque. Mais ces produits ne sont pas, sous cette forme, assimilables par les plantes. D'autres travailleurs interviennent, bien connus ceux-ci, les microbes de la nitrification, qui achèvent l'œuvre commencée et transforment l'ammoniaque en nitrites et en nitrates, produits minéraux que les plantes pourront s'assimiler. Et c'est ainsi que se ferme ce que l'on a appelé *le cycle de la vie* : l'animal s'est nourri de plantes ; à sa mort, les microbes l'ont converti en engrais dont les plantes

fabriquent leurs tissus, en attendant qu'elles servent à leur tour de pâture à d'autres animaux.

Appliquons cela à la question qui nous occupe.

Les substances organiques qui souillent les eaux résiduaires et qu'il s'agit de transformer, se partagent en deux classes : les substances ternaires — amidon, sucre, cellulose, etc. — et les substances quaternaires — albumine, caséine, fibrine, etc. — Les premières sont attaquées surtout par les microbes anaérobies qui leur enlèvent leur oxygène. Ce travail aboutit à la formation d'hydrogène libre, d'hydrogène carboné (gaz des marais) et d'acide carbonique. Les secondes deviennent la proie de microbes variés qui brisent leurs molécules et, en les simplifiant, fabriquent des peptones, des composés ammoniacaux, de l'ammoniaque libre et enfin des nitrites et des nitrates. Au terme de cette série de transformations, toutes les substances organiques sont en quelque sorte minéralisées et désormais imputrescibles, l'engrais est à point et les plantes peuvent prendre leur part du festin.

Tels sont les principes sur lesquels repose l'épuration des eaux résiduaires par les procédés biologiques. On les partage ordinairement en deux catégories : l'*épuration bactérienne* proprement dite, et l'*épuration par épandage*.

Dans le premier de ces deux procédés, les microbes travailleurs sont pour ainsi dire domestiqués, logés et nourris dans de spacieux appartements dont ils font leurs laboratoires : ce sont les *fosses septiques* et les *lits bactériens* où s'opèrent les transformations que nous venons de décrire.

Les Allemands, les Américains, les Anglais surtout possèdent aujourd'hui de nombreuses installations d'épuration bactérienne. Celle de la ville de Manchester peut servir de modèle.

Trois phases distinctes se partagent la technique du procédé. La première comprend la décantation des matières solides non putrescibles, débris de corps lourds de toute

nature. Elle se fait dans la *chambre à sable*. Vient ensuite la dissolution des matières organiques solides en suspension, qui s'accomplit dans les *fosses septiques*, par fermentation anaérobie. Enfin, l'épuration s'achève par l'oxydation des substances organiques dissoutes et leur transformation en nitrates sur les *lits bactériens*.

A Manchester, les fosses septiques sont au nombre de onze. Elles sont rectangulaires et mesurent 91 mètres de long, 31 mètres de large et 2 mètres de profondeur. L'eau y séjourne en fermentation anaérobie pendant 24 heures environ. Ce temps suffit, lorsque la fosse septique est *mûre*, à la dissolution d'une partie considérable des matières organiques en suspension. Dans le principe, on l'avait évaluée à 70 ou 80 pour cent ; mais les chiffres donnés par M. Fowler, au Congrès d'Hygiène de Bruxelles, en rabattent beaucoup. D'après lui, on n'obtiendrait dans les fosses septiques, qu'une dissolution de 25 pour cent environ de ces substances.

Les lits bactériens, où l'épuration s'achève, sont, dans l'installation de Manchester, au nombre de 92 et couvrent une surface de 18 hectares. Ils ont 1 mètre de profondeur et contiennent des scories de dimensions variées. C'est là que les microbes nitrificateurs ont installé leurs laboratoires. Les eaux qui sortent des fosses septiques subissent ordinairement deux contacts de deux heures avec ces lits bactériens qui ne travaillent que trois fois en vingt-quatre heures. Après le second contact, l'eau a cessé d'être putrescible et on peut, sans danger, l'envoyer à la rivière.

Dans ces conditions, on peut épurer 5000 m³ d'eau d'égout par hectare et par jour. Ajoutons que dans toutes les villes anglaises — et elles sont nombreuses — où ce système est en usage, les résultats obtenus sont déclarés des plus satisfaisants.

Au Congrès d'Hygiène de Bruxelles, M. De Mactricher a signalé l'application du procédé bactérien à l'épuration

des eaux résiduaires de la commune d'Aubagne, près de Marseille, nécessitée par l'existence sur les rives d'un petit cours d'eau, l'Huveaune, d'un hôpital général qui y déverse ses eaux usées. L'installation comprend un *septic tank* de $2^m,50$ de profondeur et de 8 m^2 de surface, et un lit bactérien aérobie à un seul contact. Elle fonctionne régulièrement depuis dix-huit mois. L'effluent sort clair et inodore ; la dissolution des matières organiques paraît suffisante, puisque le curage de la fosse septique n'a pas encore été nécessaire.

En traitant du même sujet, M. Dunbar, le savant hygiéniste de Hambourg, a émis l'avis qu'il fallait, avant de répandre les eaux sur les lits d'oxydation, les débarrasser des matières solides en suspension. On peut, dit-il, obtenir ce résultat en recourant à la décantation, à la précipitation ou aux fosses septiques ; mais celles-ci donnent lieu à des odeurs et à des fermentations putrides, et il est préférable d'user le moins possible du *septic tank*.

Il y aurait donc avantage à décanter ou à précipiter, par des réactifs chimiques, avant d'envoyer les eaux aux lits bactériens d'oxydation ; et l'installation idéale résulterait ainsi de la combinaison des procédés physiques et chimiques avec les procédés bactériologiques. Encore n'évite-t-on pas l'accumulation des boues encombrantes dont il faudra se débarrasser.

Le second procédé biologique, l'épuration *par épandage*, cherche à y pourvoir. Ici on laisse les microbes chez eux, dans leur laboratoire naturel, le sol, et on se contente de leur fournir la matière sur laquelle ils doivent travailler. C'est le procédé adopté à Paris et à Berlin. On l'établit avec ou sans utilisation agricole, suivant que l'on cultive ou non les terrains qu'on y consacre.

Voici comment fonctionne le système de Paris.

Les eaux résiduaires sont amenées, par deux vastes

collecteurs, dans des bassins situés à Clichy. Là elles sont débarrassées des sables, des matières lourdes et des corps flottants, puis élevées, au moyen de puissantes machines, dans les plaines de Gennevilliers et d'Achères, où se trouvent les 5000 hectares acquis par la ville de Paris pour ses champs d'épandage. Du canal qui y amène ces eaux, partent des conduites maîtresses sur lesquelles se branchent des conduites plus petites qui débouchent dans de nombreuses rigoles. Celles-ci courent à travers les champs qu'elles divisent en bandes cultivées et alimentées par infiltration latérale. Les cultivateurs disposent de vannes qui leur permettent d'irriguer à leur gré leurs terrains.

Les eaux filtrent ainsi sur une profondeur de deux mètres environ et sont reprises par un système de drains qui les conduisent dans la vallée où elles se réunissent pour former une rivière de dimensions respectables, abondamment peuplée de poissons.

En traversant le sol, ces eaux ont subi l'action des microbes ; elles en sortent limpides et peu fournies de bactéries et de substances organiques. L'ammoniaque et les nitrites ont disparu. Seuls, les nitrates et le chlore ont augmenté et attestent leur déchéance originelle.

Ces 5000 hectares ont été arrosés, en 1900, au taux de 517 000 m^3 d'eaux d'égout par jour. Ils ont gardé les principes fertilisants que ces eaux leur apportaient en grande quantité ; aussi estime-t-on de trois à quatre mille francs le revenu annuel d'un hectare de ces champs d'épandage de Gennevilliers.

Mais tous les terrains ne se prêtent pas à pareil traitement. Il faut qu'ils soient perméables et de grains assez gros pour que l'eau qui les pénètre soit bien aérée. Tels sont les terrains marneux ou composés d'un mélange de marne et de sable. Encore ces conditions rarement réalisées doivent-elles se rencontrer avec toutes celles qui permettront à une grande ville d'en profiter. On s'en

rendra compte si l'on songe que l'épuration par épandage exige jusqu'à 91 hectares par 100 000 habitants.

D'autre part, quand ces champs sont livrés à la culture maraîchère, les produits qu'on en récolte sont fatalement trop aqueux, ce qu'on n'aura aucune peine à s'expliquer. Il ne semble pas toutefois que la création et l'utilisation de ces terrains aient des conséquences fâcheuses au point de vue des maladies contagieuses. Il est vrai que des plaintes se sont élevées parfois — la GAZETTE MÉDICALE DE PARIS s'en faisait récemment l'écho — sur l'insalubrité relative des champs d'épandage de Gennevilliers, dont l'installation serait défectueuse, à certains égards, et l'ensemble insuffisant pour absorber et épurer la totalité des eaux résiduaires qu'on y conduit.

Bref, tout n'est pas rose dans ces Eldorados des microbes nitrificateurs. Les mouches et les moustiques infestent leurs domaines, et les produits des cultures, souillés par les œufs des vers intestinaux, aident à la propagation de ces hôtes encombrants et d'humeur noire.

Quelles conclusions se dégagent de cette étude rapide ? — Nous n'avons point prétendu à résoudre le problème de l'épuration des eaux résiduaires ; le lecteur qui nous aura suivi jusqu'ici comprendra cette réserve. On ne tranche pas une question qui demande à être dénouée, dans chaque cas particulier, sur les lieux mêmes, en tenant compte de tous les tenants et aboutissants d'ordres divers, et en recourant aux compétences multiples et variées que réclame sa bonne solution. Il serait tout aussi déraisonnable de préconiser un des procédés en usage à l'exclusion de tout autre, puisqu'il est permis de les combiner et qu'ils peuvent se compléter mutuellement. Mais, ces réserves faites, il faut ajouter que l'accord paraît exister, dans le monde des hygiénistes, sur la valeur très réelle et les résultats excellents des procédés bactériens.

Dr A. HAIBE.

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX DE PAUL TANNERY

Paul Tannery naquit à Mantes le 20 décembre 1843. Après de brillantes études d'humanités classiques, il entra à l'École Polytechnique, en 1861, âgé de dix-sept ans seulement, et en sortit dans le corps des Ingénieurs des Manufactures de l'État, dont il gravit successivement tous les échelons. Il était à Paris au commencement du siège et commanda, comme capitaine, la 2me batterie du corps franc d'artillerie (service des mitrailleuses). Nommé, à la fin de sa vie, directeur de la Manufacture des tabacs à Pantin, il y est mort, muni des secours de la religion, le 27 novembre 1904.

Tannery avait fait deux parts de sa vie : les journées étaient données à son métier, les soirées consacrées à l'histoire des sciences. C'est dans ces veillées qu'il accumula tant de travaux si érudits et si divers. Très remarqués dès le principe, ils ne tardèrent pas à valoir à leur auteur une renommée européenne.

Comme historien des mathématiques et des sciences, Tannery était absolument sans rival en France, où nous chercherions vainement un nom qui pourrait, même de fort loin, lui être comparé. Peu connu, il est vrai, de la foule, il était apprécié à sa valeur par ceux dont le jugement importe. C'est ainsi que, malgré les devoirs de sa

charge d'ingénieur, on n'hésita pas, pendant cinq ans, de 1892 à 1896, à lui offrir au Collège de France la chaire de philosophie grecque et latine, en remplacement de M. Charles Lévêque ; Tannery accepta.

Récemment le Collège de France, à une grande majorité, l'Académie des Sciences, à la presque unanimité des suffrages, l'avaient désigné en première ligne pour occuper la chaire d'Histoire générale des sciences créée jadis pour M. Pierre Laffitte. C'était justice ; quand un pays possède un Paul Tannery, a dit, devant l'Académie de Padoue, l'illustre éditeur de Galilée, M. Favaro (1), il devrait se faire un honneur de créer, s'il le fallait, une chaire pour fournir à un savant d'une telle autorité l'occasion d'y monter : aussi, dans l'Europe entière, tous ceux qui s'intéressaient à la nomination de Tannery la regardaient-ils comme faite. Il n'en fut rien : pour des raisons d'antipathie politique et d'intrigue auxquelles la science n'avait rien à voir, M. Chaumié, ministre de l'Instruction publique, lui préféra M. Georges Wyroubotf, cristallographe de valeur et bon chimiste, dit-on, mais historien, à coup sûr, parfaitement inconnu.

Tannery supporta chrétiennement et dignement l'épreuve, mais il y fut fort sensible, et ses intimes nous apprennent qu'elle ne fut pas sans influence sur sa fin prématurée. Les témoignages unanimes de regrets et de sympathie que lui envoyèrent de partout les savants de toute opinion lui adoucirent cependant la déception, en lui montrant à l'évidence à quel point l'acte d'injustice qu'il venait de subir était universellement blâmé.

(1) *Paolo Tannery*. Nota commemorativa letta alla R. Accademia di Scienze, Lettere ed Arti in Padova, nell' adunanza del 15 Gennaio 1905, da Antonio Favaro.

Voir aussi, sur l'évincement de Paul Tannery, le jugement non moins sévère de M. G. Eneström, dans son journal, BIBLIOTHECA MATHEMATICA (3. Folge, 5. Band, Leipzig, 1904, pp. 64-67).

I

Les premiers travaux de Tannery ont la plupart pour objet l'histoire scientifique, philosophique et littéraire de la Grèce ancienne. Ils débutèrent, à quelques années de distance, dans quatre recueils périodiques où chacun d'eux forme une longue série d'articles : le BULLETIN DES SCIENCES MATHÉMATIQUES de Darboux, les MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES DE BORDEAUX, les ANNALES DE LA FACULTÉ DES LETTRES DE BORDEAUX, la REVUE PHILOSOPHIQUE DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER.

On remarquera de prime abord la diversité de ces recueils.

C'est que Paul Tannery était un esprit vraiment universel. Les questions philosophiques eurent toujours pour lui un attrait singulier. Passionné en même temps pour son métier d'ingénieur, il était en outre passé maître dans la connaissance des langues anciennes. C'était bien plus qu'un géomètre qui se serait assez perfectionné dans l'étude du latin et du grec pour lire couramment les auteurs écrits dans ces langues ; sa maîtrise y était si complète qu'il faisait autorité même parmi les hellénistes de profession et que ceux-ci n'hésitèrent pas à l'élever à la présidence de la Société des Études grecques de France.

Le premier travail publié par Paul Tannery, dans le BULLETIN DES SCIENCES MATHÉMATIQUES, date de 1879 et depuis lors sa collaboration y fut incessante. Ces articles sont souvent indépendants les uns des autres ; d'autres fois ils se font suite pour former un travail d'ensemble. C'est ainsi que l'une des séries les plus intéressantes a été réunie en volume sous le titre : *La Géométrie grecque. Comment son histoire nous est parvenue et ce que nous en savons* (1).

(1) Première Partie (la seule qui ait paru), *Histoire générale de la Géométrie élémentaire*. Paris, Gauthier-Villars, 1887.

On est parfois soi-même son meilleur juge. Tannery a apprécié avec une admirable vérité ce volume et je ne puis mieux faire que de le résumer ici.

Et tout d'abord le titre pourrait faire illusion et laisser croire à une analyse des principaux ouvrages des géomètres grecs échappés aux invasions des Barbares et aux ruines accumulées à la fin de l'Empire romain. Tout autre est le but poursuivi par l'auteur. Il cherche à retracer l'histoire des précurseurs d'Euclide et à retrouver les étapes qui ont dû être parcourues pour pouvoir aboutir à la composition de cette œuvre hors de pair, les *Éléments*.

Pour connaître la géométrie grecque elle-même, il faut évidemment l'étudier dans les travaux originaux d'Euclide, d'Archimède, d'Apollonius et de Pappus, ou tout au moins dans leurs traductions. Mais indispensables pour nous mettre au courant des méthodes propres à la science grecque, ils sont insuffisants à qui veut connaître son origine, ses développements, en un mot, sa formation. L'histoire de la géométrie grecque, telle que l'entend Tannery, doit donc faire appel à d'autres sources.

Cette histoire avait jadis été écrite par Eudème. Malheureusement le récit d'Eudème est perdu et, seul, un fragment, assez considérable il est vrai, nous a été conservé par Proclus, dans son prologue au commentaire sur le premier livre des *Éléments* d'Euclide. C'est une étude approfondie du fragment d'Eudème qui fait le fond principal de la *Géométrie grecque* de Paul Tannery. Aidé d'une lecture immense, doué d'un sens critique très sûr, c'est merveille de voir les aperçus ingénieux qu'il a su y découvrir. Moins que tout autre cependant, il se faisait illusion sur leur valeur absolue : il reconnaissait que c'étaient souvent des conjectures et avouait leur caractère aléatoire et peu définitif. C'est ici surtout qu'il est aussi curieux qu'instructif de l'entendre se juger lui-même :

« Il faut, dans la critique d'érudition, dit-il (1), borner

(1) *La Géométrie grecque*, pp. 2 et 3.

son ambition au présent, et, sans trop préjuger l'avenir, s'efforcer d'assurer à ses opinions le plus possible de probabilité actuelle. Or à quoi se mesure cette probabilité ? En fait, c'est dans la proportion plus ou moins considérable d'adhésions rencontrées dans le cercle, d'ailleurs fort restreint, des érudits vivants s'occupant des questions dont il s'agit. A peine est-il besoin d'ajouter que, pour une évaluation effective, il conviendrait d'introduire des coefficients personnels. Un savant comme Moritz Cantor, comme Friedrich Hultsch, comme J. L. Heiberg, en vaut plusieurs autres ; mais il ne réclame, ni ne peut réclamer l'infaillibilité. Quant à ceux qui ont disparu de la scène et que parfois on invoque encore, ils ne comptent plus guère, ils n'ont pu peser les nouveaux arguments, enfin et surtout, ils n'étaient pas dans le courant d'idées actuel.

» Pourquoi insisté-je sur ce dernier point ? Je vais chercher à l'expliquer, d'autant plus qu'il s'agit d'un élément considérable dans l'appréciation des opinions.

» Voici déjà la dixième année depuis que j'ai commencé à publier sur l'histoire des sciences quelques-unes de mes conjectures personnelles. A partir du moment où mes humbles essais ont commencé à attirer l'attention, il est une question que j'ai souvent eu à me poser : pourquoi telle hypothèse, que j'émettais presque sans preuves, souvent à titre de simple possibilité, rencontrait-elle un assentiment général ? Comment telle autre, au contraire, que je m'étonnais d'être le premier à soutenir, tant elle me semblait naturelle, tant elle ressortait invinciblement pour moi de l'ensemble des faits, comment trouvait-elle des adversaires ? Étudiais-je des travaux étrangers, je voyais surgir devant moi le même problème : tel point qui à mes yeux ne faisait pas l'ombre d'un doute, telle question qui me semblait devoir se régler en quelques mots devenait l'objet de discussions approfondies, de polémiques sérieuses et prolongées.

» Comment expliquer tout cela, du moins dans une certaine mesure ? »

La cause en est, répond Tannery, dans l'état des idées prédominantes. De là, ces brusques variations dans les courants d'opinion ; ces changements imprévus qui se produisent « par suite du travail interne accompli chez chaque érudit, ou en raison du renouvellement continu des savants qui attirent le plus l'attention par leurs travaux » (1).

Hâtons-nous de le dire, exactes en ce qui concerne sa *Géométrie grecque*, ces réflexions, écrites par Tannery d'un ton un peu découragé et pessimiste, ne sauraient être généralisées ni s'étendre à l'ensemble de ses travaux. Dans sa *Géométrie grecque*, il se mouvait sur le terrain le moins solide de l'histoire de la science, mais ailleurs le sol se raffermit singulièrement sous ses pieds. C'est, par exemple, le cas pour les études qu'il donnait vers la même époque aux MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES DE BORDEAUX.

Ces études, d'un tout autre caractère que les précédentes, sont d'un bien plus grand intérêt pour le mathématicien. Tannery y aborde les ouvrages des géomètres grecs eux-mêmes, y expose leurs méthodes, y critique leurs démonstrations, dans des pages auxquelles seules les discussions de l'illustre Zeuthen sur les *Coniques dans l'antiquité* (2) peuvent être comparées. Les méthodes du calcul arithmétique de Héron, celles de Pappus, la quadrature du cercle d'Archimède, les lunules d'Hippocrate de Chio, la solution géométrique des problèmes du second degré avant Euclide, le système astronomique d'Eudoxe, enfin et surtout l'*Almageste* de Ptolémée en font les principaux frais. Cette étude sur l'*Almageste* parut aussi en volume

(1) *O. c.*, p. 4.

(2) *Die Lehre von den Kegelschnitte im Altertum*, von Dr H. G. Zeuthen. Deutsche Ausgabe... besorgt von Dr R. V. Fischer-Benzon. Kopenhagen, 1886.

séparé sous le titre : *Recherches sur l'Histoire de l'Astronomie ancienne* (1). Ingéniosité des aperçus, richesse d'érudition, sûreté de critique, tout contribue à en faire le travail le plus original et le plus approfondi qui ait paru sur la *Grande Composition* de Ptolémée depuis Delambre.

Écrits par un ingénieur doublé d'un helléniste, tous les morceaux dont je viens de parler se distinguent par ce cachet particulier qu'un technicien imprime naturellement à l'explication d'un texte qui ne saurait lui cacher de secrets de métier. Ce mérite, le lecteur s'attendait à le trouver chez Tannery. Mais il en découvre bientôt un autre plus imprévu, je veux dire : une connaissance universelle de la littérature grecque dont Tannery fait preuve à tout instant. Philosophes, historiens, poètes même lui sont aussi familiers que les géomètres et les astronomes. Aussi est-ce sans surprise qu'on le voit pendant longtemps apporter sa contribution annuelle aux Annales de la Faculté des Lettres de Bordeaux. Voici quelques échantillons des sujets qu'il y traite : la Chronologie des Philosophes antésocratiques, le Noyau de l'Iliade, la Géographie de l'Odyssée, la Question de l'authenticité des manuscrits de Tacite. Mais je ne veux rien exagérer : si ces petites notes sont parfois tracées de main d'ouvrier, elles n'atteignent cependant ni les travaux de grande envergure nommés ci-dessus, ni ceux qui vont suivre.

Il en va tout autrement des articles publiés dans la Revue Philosophique de la France et de l'Étranger. Ces articles ont eu pour ainsi dire deux éditions. Écrits d'abord sous forme de notes détachées, tantôt plus courtes, tantôt plus longues, jetées sur le papier au fur et à mesure que les idées de l'auteur se classaient et se précisaient, leur première rédaction laissait difficilement entrevoir soit un plan d'ensemble, soit même une idée

(1) Paris, Gauthier-Villars, 1893.

dominante. Or cette idée dominante existait cependant, mais il fallait la mettre en lumière. Tannery retravailla donc son œuvre, la corrigea et la compléta, pour finir par en composer ce beau volume intitulé : *Pour l'Histoire de la Science Hellène* (1).

« La Science Hellène ! J'entends par là, dit-il, celle qui naquit et grandit dans les pays de langue grecque, pendant la période d'environ trois siècles qui s'écoule depuis l'époque des âges légendaires, jusqu'à celle des conquêtes d'Alexandre. » Les premiers penseurs grecs sont, de par la tradition, considérés comme philosophes. Leurs opinions ont donc été étudiées surtout par les philosophes. Quant aux historiens des sciences particulières, physique, médecine, astronomie ou autres, ils ont d'ordinaire admis, sans plus ample informé, les conclusions des historiens de la philosophie. C'est à tort. Jusqu'à Platon, les penseurs hellènes n'ont pas été des philosophes dans le sens actuel de ce mot, mais des *physiologues* comme on disait alors, c'est-à-dire des savants. Le noyau des systèmes des anciens *physiologues* n'a jamais été une idée métaphysique, mais bien la conception générale que chacun d'eux se faisait du monde. C'est de leur conception concrète du monde qu'ils s'élevèrent peu à peu aux abstractions qui devinrent plus tard le domaine propre de la philosophie, tandis que les savants s'en désintéressaient de plus en plus. Dès lors, pour reconstituer ce noyau, il faut faire passer en première ligne les opinions spéciales des *physiologues* sur les divers points de la physique, les rattacher entre elles et expliquer, s'il se peut, leur filiation historique.

C'est, on le voit, un ordre d'idées à suivre aussi contraire que possible à celui que réclame l'histoire de la philosophie, dans lequel les opinions des philosophes sont mises au dernier rang et par conséquent plus ou moins négligées.

(1) Paris, Alcan, 1887.

Sans être le moins du monde un ouvrage à thèse, *Pour l'Histoire de la Science Hellène* est le développement de cette pensée. Tannery s'y attache d'autant plus que cette idée n'avait germé chez lui que peu à peu, qu'elle était née à la lecture des textes, avait mûri par la réflexion et ne procédait d'aucun système préconçu, ni formé *à priori*.

II

Ces premiers travaux de Tannery furent fort remarqués et mirent immédiatement leur auteur en évidence, surtout à l'étranger. Cependant, malgré leur variété, ils ne laissaient guère entrevoir l'infatigable chercheur de manuscrits et de documents inconnus, le savant éditeur de tant d'auteurs anciens et de géomètres du XVIIe siècle qui devaient être son principal titre de gloire.

A ce point de vue, l'année 1886 marque une date dans sa vie.

Il donne d'abord, dans l'ANNUAIRE DE L'ASSOCIATION POUR L'ENCOURAGEMENT DES ÉTUDES GRECQUES EN FRANCE, le *Traité de Manuel Moschopoulos sur les carrés magiques* (1). Ce traité, adressé à un certain Nicolas Rhabdas, est un essai byzantin du XIVe siècle, dans lequel Manuel explique un genre de récréations mathématiques, dont plusieurs savants se sont encore occupés de nos jours et notamment Ahrens et Édouard Lucas. Le *Traité* de Moschopoulos n'était pas inconnu. La Hire, l'ayant rencontré accidentellement dans le manuscrit 2448 de la Bibliothèque Nationale, l'avait analysé (2); plus récemment Siegmund Günther en avait même publié le texte grec (3);

(1) 20e année, pp. 88-118.

(2) MÉMOIRES DE MATHÉMATIQUE ET DE PHYSIQUE DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES, année 1709, p. 162.

(3) *Vermischte Untersuchungen zur Geschichte der Mathematischen Wissenschaften*, Leipzig, Teubner, 1876, pp. 195-203 ; les variantes sont pp. 267 et 268.

mais malheureusement le manuscrit de Munich dont s'était servi Günther était si défectueux, qu'il rendait une réédition désirable. Tannery la donna d'après le manuscrit « Supplément grec, n° 652 » de la Bibliothèque Nationale, dont le texte était particulièrement correct.

En cette même année 1886, Tannery publiait son premier document ancien, dans ces NOTICES ET EXTRAITS DES MANUSCRITS DE LA BIBLIOTHÈQUE NATIONALE (1) qui allaient désormais recevoir de sa plume tant d'œuvres remarquables. C'étaient les *Deux lettres arithmétiques de Nicolas Rhabdas*, dont il donnait le texte grec et la traduction française, avec une introduction, des notes et des commentaires. Pièces curieuses, s'il en fût, uniques en leur genre ! Par quelle fatalité sont-elles restées si peu connues ?

Qu'on ouvre cependant les MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES DE BORDEAUX, qu'on y lise les recherches de Tannery sur l'arithmétique des Grecs dans Héron et dans Pappus, on le verra : l'*arithmétique* des Grecs, c'est-à-dire leur théorie des nombres, est assez bien connue ; mais pour leur *logistique* au contraire, c'est-à-dire l'art du calcul élémentaire, on en est réduit aux conjectures. Or c'est précisément un traité de *logistique* que l'on trouve dans les deux lettres de Rhabdas.

Le problème n'en est pas pour cela complètement résolu, car Rhabdas, nous venons de le dire, ne vécut qu'au XIVe siècle de notre ère. Mais il écrivit à Constantinople, loin de toute influence étrangère à l'hellénisme, fidèle à l'ancienne numération écrite et parlée des Grecs. Sa première lettre est un traité élémentaire des quatre opérations fondamentales de l'arithmétique, la deuxième contient des considérations à peine un peu plus relevées. C'est le seul ouvrage connu de tout le moyen âge byzantin qui puisse passer pour un traité de calcul, et par conséquent un témoin hors de pair de la tradition ancienne.

(1) Tome XXXII, 1e partie, pp. 121-252.

Toujours en 1886, Tannery donne encore aux NOTICES ET EXTRAITS DES MANUSCRITS ses *Fragments d'onomatomancie arithmétique* (1). Ces fragments sont des morceaux étranges et difficiles à analyser en peu de mots. Leur but est de faire connaître un mode de divination d'après les noms propres. L'intérêt du procédé qui y est indiqué est de constituer un argument sérieux pour établir, chez les Grecs, la connaissance de la *preuve dite par neuf*.

Dès l'année suivante, en 1887, Tannery entreprend de nouveau dans l'ANNUAIRE DE L'ASSOCIATION POUR L'ENCOURAGEMENT DES ÉTUDES GRECQUES EN FRANCE, la publication d'un texte fort étendu, mais d'un genre très différent des précédents, le *Traité sur le grand et le petit, par Théodore Prodrome, à Italicos* (2).

Théodore Prodrome est bien connu par tous ceux qui se sont occupés des auteurs byzantins. Mais avant la publication de Tannery on n'en possédait que quelques vers et des opuscules en prose. Le *Traité sur le grand et le petit* le montre sous une autre face et le fait connaître comme commentateur d'Aristote.

Voilà donc une série d'ouvrages importants, aussi variés que nombreux, mais qui s'adressaient tous au monde des érudits. Intéressant un public aussi restreint, leur mise au jour ne pouvait guère prendre les proportions d'un événement littéraire. Il allait bientôt en être autrement, et c'est le moment de nommer les *Œuvres de Diophante*.

III

Les *Diophanti Alexandrini Opera omnia* (3) sont le chef-d'œuvre de Paul Tannery. Et tout d'abord, mieux encore que pour les *Œuvres de Fermat* ou *de Descartes*,

(1) Tome XXXI, 2e partie, pp. 231-260.
(2) 21e année, pp. 104-119.
(3) Lipsiae, in aedibus B. G. Teubneri, vol. I, 1893 ; vol. II, 1895.

une longue suite de travaux préparatoires nous permettent de deviner quelle ténacité il a dû déployer pour mener à bien une entreprise aussi ardue.

Une question préliminaire se présentait : vers quelle date vivait l'algébriste grec ? C'est l'objet d'une note publiée, en 1879, dans le BULLETIN DES SCIENCES MATHÉMATIQUES : *Sur l'époque où vivait Diophante*. Tannery le croit contemporain de Pappus, ce qui le reporterait au IIIe siècle de notre ère.

Mais c'était là un problème secondaire et il y en avait un autre tout autrement malaisé à résoudre : arriver à comprendre, parfois même à deviner Diophante. On sait combien les erreurs des copistes l'avaient rendu inintelligible.

Tannery fit des méthodes de Diophante l'objet d'une série de quatre études, intitulées respectivement : *Les problèmes déterminés ; L'analyse indéterminée algébrique ; Les problèmes indéterminés des livres II et III ; Les problèmes indéterminés des quatre derniers livres*. C'est un commentaire magistral du mathématicien grec, le seul digne de ce nom écrit en français. Malheureusement il parut à Stockholm, et la BIBLIOTHECA MATHEMATICA (1), si connue depuis qu'elle s'édite à Leipzig, n'avait pas encore la notoriété dont elle jouit aujourd'hui. Le commentaire de Tannery passa à peu près inaperçu.

Cependant, tout en étudiant le fonds même de l'algèbre de Diophante, l'infatigable travailleur réunissait lentement, mais avec persévérance, les éléments d'une édition critique. Dès 1884, dans le BULLETIN DES SCIENCES MATHÉMATIQUES, il faisait connaître son sentiment *Sur la perte de sept livres de Diophante* et réfutait les savants qui niaient cette perte.

En cette même année 1884, il résumait dans les ANNALES DE LA FACULTÉ DES LETTRES DE BORDEAUX, le

(1) Stockholm, année 1887, pp. 37-43, 81-88 et 103-108 ; année 1888, pp. 3-6.

résultat de ses recherches *sur les manuscrits de Diophante qui sont à Paris*. Ces manuscrits, au nombre de cinq, ne sont pas les plus importants. Tannery se voyait dans la nécessité de les collationner avec d'autres et notamment avec les manuscrits du Vatican et celui de l'Escurial.

Pour remplir la première partie de ce programme, il se fit donner par le Gouvernement français une mission d'un mois en Italie, qui dura du 24 janvier au 24 février 1886. Il en rendit compte, suivant l'usage, dans les Archives des Missions (1). Au moment où il écrivait ce rapport, il ne connaissait encore le manuscrit de l'Escurial que par les catalogues et des renseignements de seconde main. Il est vrai que, parmi ceux-ci, il y avait ceux de J. L. Heiberg. A sa demande, le savant danois avait examiné le manuscrit de l'Escurial et le faisait remonter au XIIIe siècle ; dès ce moment, Tannery en soupçonna l'importance. Un voyage qu'il fit plus tard, en Espagne, le confirma dans son opinion et c'est ce manuscrit qu'il se décida à prendre comme base de son édition de Diophante.

Il y a deux manières de concevoir la publication d'un manuscrit. Chacune d'elles a ses avantages et ses inconvénients, mais, à un moment donné, l'une des deux méthodes peut s'imposer à l'exclusion de l'autre.

On peut publier le texte d'un manuscrit *diplomatiquement*, c'est-à-dire brutalement, tel qu'il est, en conservant ses imperfections et ses fautes. C'était la méthode invariablement suivie par Curtze. C'est aussi par moments celle de Tannery lui-même dans ses *Œuvres de Fermat* et *de Descartes*. Cette méthode s'impose chaque fois qu'on veut dégager, avec ses nuances, l'idée personnelle d'un écrivain, des transformations que lui ont fait subir les éditeurs successifs. Dès lors, c'est presque toujours la meilleure pour les éditions savantes.

(1) 3e série, t. XIII, 1889.

Encore faut-il qu'elle soit possible. Et qui n'aperçoit la première des conditions qu'elle suppose : l'existence d'un autographe, ou tout au moins d'une copie fidèle ? Or c'est rarement le cas pour les classiques grecs et latins.

Tenons-nous-en à Diophante. Il en existe une vingtaine de manuscrits, tous incomplets, tous plus défectueux les uns que les autres, tous rendus parfois inintelligibles grâce aux fautes accumulées par des copistes distraits et ignorants. Ce n'est plus une édition *diplomatique*, c'est une édition *critique* qui est nécessaire alors, pour connaître la pensée de l'auteur. Il faudra donc commencer par se livrer à un travail minutieux de comparaison et de contrôle et tâcher de reconstituer le texte. Or si l'on veut remarquer que deux conditions au moins sont indispensables pour cela — comprendre la pensée de l'écrivain et en manier la langue comme sa langue maternelle — je n'hésite pas à l'affirmer, seul en France, seul peut-être en Europe, Tannery était capable de donner une édition critique de Diophante.

Le premier volume contient les six livres arithmétiques et le livre des nombres polygones, en un mot, tout ce qui nous reste, à proprement parler, de Diophante lui-même. Mais il fallait les mettre à la portée des mathématiciens. Tannery imagina pour cela une traduction à sa façon. Se contentant de suivre phrase par phrase le texte grec, il en exprime la pensée en langage algébrique moderne. « Les philologues, disait-il, préféreront toujours l'original grec à une traduction. » Ce n'était donc pas pour eux qu'il écrivait. Quant aux mathématiciens, leur donner une version latine servile, c'était, d'après lui, obscurcir encore davantage les passages peu clairs. Il avait raison et la preuve en était faite dans les éditions anciennes de Xylander, de Bachet, de Méziriac et de Samuel Fermat. Quoi qu'il en soit, c'est plaisir de suivre les raisonnements

de Diophante dans les égalités et les équations de Tannery.

Le second volume ne renferme plus une ligne de Diophante lui-même, mais il est formé par un recueil de textes en partie inédits, tous fort utiles pour l'appréciation de son ouvrage. Ce sont, dans l'ordre suivi par Tannery : 1° Des fragments mathématiques anciens faussement attribués à Diophante par trois manuscrits de Paris ; 2° La collection peu nombreuse (ils sont seulement au nombre de quatre) des *testimonia* anciens sur Diophante. On y remarquera la longue et curieuse lettre de Psellus, découverte par Tannery et donnée d'après les manuscrits de Madrid et de Paris ; 3° Les épigrammes arithmétiques de l'*Anthologie* avec leurs scolies ; 4° La paraphrase du Livre I de Diophante par Georges Pachymère ; 5° Le commentaire de Maxime Planude ; 6° Un choix de *Scholia Vetera* du manuscrit de Madrid et de ceux de sa famille.

Ces documents, destinés exclusivement aux historiens de la science, étant sans grand intérêt au point de vue des mathématiques pures, Tannery a cru, avec raison, superflu d'y ajouter une traduction latine.

IV

Mais comment préparer une édition de Diophante sans se laisser séduire par son immortel annotateur Fermat (1)? Tannery ne résista pas au charme, et ses premières études sur Fermat sont presque contemporaines de ses plus anciens travaux sur Diophante. Elles ne parurent pas, il est vrai, sous son nom personnel, mais on en a la substance dans le *Supplément* au travail intitulé *Recherches*

(1) Voir sur Fermat : *Précis des Œuvres Mathématiques de Fermat*, par P. Brassinne. Paris, Mallet Bachelier, 1853 (Extrait des MÉMOIRES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE TOULOUSE).

sur les Manuscrits de Pierre de Fermat, suivis de Fragments de Bachet et de Malebranche, publié par Ch. Henry, dans le BULLETTINO du prince Boncompagni (1).

Charles Henry, un nom à retenir, à associer à celui de Paul Tannery, car bientôt ils vont collaborer ensemble, pour nous donner les *Œuvres de Fermat*.

Les vicissitudes subies, dès l'origine, par la publication des *Œuvres de Fermat* sont connues. Lorsque, le 12 janvier 1665, Pierre de Fermat mourut à Castres, où l'avait appelé son service de conseiller au Parlement de Toulouse, il était tenu pour le plus grand géomètre de l'Europe ; mais ce n'était guère par les livres que son nom s'était répandu dans le monde savant. Lui-même, d'ailleurs, n'avait fait imprimer qu'une seule dissertation géométrique et encore avait-il gardé l'anonyme. Cet opuscule parut en 1660, comme annexe d'un volume publié à Toulouse, sur la cycloïde (2), par le Père jésuite Lalouvère. Ce dernier faisait en même temps connaître, comme étant dues à Fermat, mais publiées sans son aveu, diverses autres propositions intéressantes. Annexe et propositions passèrent à tel point inaperçues, que Samuel Fermat les oublia dans l'édition des *Œuvres* de son père. Tannery les découvrit et appela, le premier, l'attention sur elles dans son article *Pascal et Lalouvère* (3).

(1) BULLETTINO DI BIBLIOGRAFIA E DI STORIA DELLE SCIENZE MATEMATICHE E FISICHE, t. XIII, Rome, 1880, pp. 437-470.

(2) Veterum geometria promota in septem de Cycloide libris, et in duabus adjectis Appendicibus. Autore Antonio Lalovera Societatis Jesu, Tolosae, apud Arnoldum Colomerium, Regis et Academiae Tolosanae Typographum. M.DC.LX. Cum privilegio.

Ce morceau figure comme *Pars Prior* de l'*Appendix secunda*, pp. 391-395.

(3) MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES DE BORDEAUX, 3e série, t. V, 1890, pp. 55-84.

Quelques années plus tard cet article fut suivi d'un second publié dans le même recueil (4e série, t. IV, 1894, pp. 251-259) sous le titre : *Pascal et Lalouvère*, 2e *note*, par Paul Tannery. L'occasion lui en fut fournie par les *Fragments inédits de Pascal*, publiés dans la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, (t. V, 1879, pp. 693-698) et que Tannery ne connaissait pas lorsqu'il écrivait le premier article.

Les *Œuvres de Fermat* parurent en 1679, à Toulouse, sous le titre de *Varia Opera D. Petri de Fermat Senatoris Tolosani* (1). C'était un monument de la piété filiale élevé à la mémoire paternelle par Samuel Fermat. Mais sept ans auparavant Samuel Fermat avait déjà publié, à ses frais et sans privilège, une réédition du *Diophante*, *par Bachet*, avec les notes et commentaires de son père. Il y donnait, en même temps, le *Doctrinae analyticae inventum novum*, *collectum ex variis D. de Fermat Epistolis*, *par de Billy*.

Quant aux lettres de Fermat, on n'en avait pas, à proprement parler, d'édition. Plusieurs d'entre elles étaient célèbres. Grâce à Mersenne elles avaient circulé entre savants, et ce mode de publicité remplaçait, au XVIIe siècle, celui des recueils périodiques. Quelques-unes avaient été publiées de côtés divers, parfois du vivant même de l'auteur, notamment dans le *Commercium epistolicum* de Wallis ; mais le plus grand nombre s'était perdu.

Varia Opera, notes sur Diophante et lettres, devinrent bientôt fort rares. C'était un malheur, mais ce qui était plus regrettable encore, on savait que c'était loin d'être tout ce qu'avait écrit Fermat. Si le conseiller au Parlement de Toulouse rédigeait peu, il lisait et annotait ses livres. Or, quand un lecteur annote ses livres, c'est chez lui une habitude, dit quelque part Tannery. C'était dans les marges et au bas des pages que Fermat avait annoté Diophante, et ces notes prouvaient le prix des réflexions qu'il écrivait au courant de ses lectures. La correspondance de Fermat était, elle aussi, bien loin d'avoir été imprimée en entier. Le besoin d'une réédition des *Œuvres complètes de Fermat* se faisait donc sentir depuis longtemps et, dès le 28 avril 1843, Villemain, alors ministre de l'Instruction publique, prenait l'initiative d'un projet

(1) Cette édition a été reproduite par la photogravure en 1861 : « Novo invento usi expresserunt R. Friedlander et Filius, Berolini, MDCCCLXI. »

de loi pour faire cette publication aux frais de l'État. La direction en fut confiée à Libri.

Je n'ai pas à redire ici comment ce projet échoua à la suite de l'obscure affaire des vols du trop fameux bibliomane. Mais, ce qui concerne plus spécialement les vicissitudes des manuscrits de Fermat, leur perte momentanée, l'heureux concours de circonstances par lesquelles plusieurs d'entre eux devinrent la possession du prince Boncompagni, l'édition de quelques autres par M. Ch. Henry, dans le BULLETTINO du prince (1), tout cela a été raconté par Tannery lui-même, dans l' « Avertissement » des *Œuvres complètes de Fermat*.

Dans le plan primitif, les *Œuvres de Fermat* (2) avaient trois volumes. On a reconnu depuis la nécessité d'alléger les tomes II et III, et, pour être complètes, les *Œuvres* doivent en comprendre un quatrième qui n'a pas encore paru. Il contiendra des suppléments et les tables.

En ouvrant le tome I, l'œil est d'abord arrêté par deux belles gravures hors texte : le portrait de Fermat et un fac-similé du titre des *Varia Opera* de 1659. Vient ensuite, sous le nom d' « Avertissement », l'histoire complète des manuscrits et des ouvrages imprimés de Fermat, par Paul Tannery. Les éditeurs y ont joint la photogravure hors texte d'une page de l'écriture du conseiller géomètre.

Le corps même du tome I a deux parties. La première, intitulée *Œuvres diverses*, est, somme toute, la réédition des *Varia Opera* de 1659, mais avec quelques modifications de détail. C'est que dans les *Varia Opera* on n'apercevait guère la classification adoptée par Samuel Fermat, ou, pour mieux dire, il n'y en avait pas. Les nouveaux éditeurs groupent les pièces par ordre de matières.

(1) *Recherches sur les manuscrits de Fermat, suivis de fragments inédits de Bachet et de Malebranche.* BULLETTINO, tome XII, 1879, pp. 477-568 et 619-740.

(2) Paris, Gauthier-Villars, tome I, 1891 ; tome II, 1894 ; tome III, 1896.

Autre innovation heureuse : au lieu de réunir à la fin des volumes toutes les pièces nouvelles, ils les ajoutent au fur et à mesure aux pièces anciennes à leurs places naturelles. Ce sont : la *Loci ad tres lineas demonstratio*, l'*Isagoge ad locos ad superficiem* adressé à Carcavi, la *Methodus de Maxima et Minima*, l'*Ad Methodum de Maxima et Minima Appendix*, le problème envoyé à Mersenne le 10 novembre 1642, la lettre écrite à Huygens sur l'équation du 45e degré d'Adrien Romain, la réponse aux Questions de Cavalieri, les propositions envoyées à Lalouvère dont nous avons parlé ci-dessus, enfin le *De cissoide fragmentum*.

La deuxième partie de ce volume est consacrée aux *Observations sur Diophante*, rééditées sans le texte assez inutile du géomètre d'Alexandrie, texte qui laissait d'ailleurs par trop à désirer dans l'édition de Samuel Fermat.

Vient enfin un « Appendice » de plus de cent pages, vraie troisième partie, dans laquelle on a réuni, d'une part tous les fragments de Fermat qui ne trouvaient pas leur place naturelle dans les deux premières, d'autre part un certain nombre de documents qui le concernent. Remarquons-y l'« *Éloge de Monsieur de Fermat, Conseiller au Parlement de Tolose*, du JOURNAL DES SÇAVANTS, du Lundy 9 février 1665 ».

Sauf ce dernier morceau et un autre, toutes les pièces du premier volume sont en latin.

Mais les *Varia Opera* sont d'une singulière incorrection au point de vue typographique. Les originaux font défaut, à une seule exception près, qui permet d'ailleurs de constater que Fermat écrivait assez rapidement pour ne pas éviter certains *lapsus calami*. Enfin, les quelques copies du temps qui nous ont été conservées laissent également à désirer.

Dans ces conditions, que faire ?

Donner avant tout un texte correct, soit pour le fond, soit pour la forme ; le restituer au besoin, en corrigeant

les fautes grossières, en ne reculant même pas devant certaines additions de mots ou de membres de phrases omis. Tannery et son savant collaborateur les ont cependant placés entre crochets d'intercalations facilement reconnaissables. Même règle pour les passages qui semblaient interpolés ; ils ont été mis aussi entre crochets, mais d'une autre forme.

La ponctuation des *Varia Opera* est aussi défectueuse que possible ; les éditeurs n'en ont tenu aucun compte. Ils n'ont pas davantage conservé la division en alinéas que comporte cette édition ; mais, recherchant avant toutes choses la facilité de la lecture, ils ont adopté une ponctuation conforme aux habitudes modernes et multiplié les alinéas. Dans le même but, ils ont mis à la ligne tout ce qui est équation ou peut être considéré comme tel.

Tannery ne s'était pas complètement rallié à certaines tentatives récentes de réforme de l'orthographe latine. Il conserve donc ici la distinction entre l'*i* et le *j*, l'*u* et le *v*, conformément à ce qui est resté, malgré tout, le plus en usage aujourd'hui. C'est d'ailleurs ce que faisaient les Elzevier, par exemple, dans l'édition de Viète de 1646.

La nouvelle édition de Fermat devait cependant pouvoir en tout remplacer l'ancienne ; l'orthographe des *Varia Opera* et celle des autres sources a donc été scrupuleusement notée dans les variantes rejetées à la fin du volume.

Dans tout ce travail Paul Tannery s'était spécialement chargé de l'établissement du texte et de la rédaction des notes, tandis que Charles Henry s'était plus particulièrement occupé de recueillir et de classer les documents.

Le second volume est consacré à la correspondance de Fermat et contient 118 pièces dont 81 lettres de Fermat, les unes en latin, d'autres en français. Tannery s'était réservé le soin des lettres des années 1636 à 1645 ; Charles Henry, celui des lettres des années 1646 à 1664. La traduction des lettres latines se trouve au tome III.

Ce tome III renferme, nous apprend le titre, les tra-

ductions, par Paul Tannery : 1° des écrits et fragments latins de Fermat, 2° de l'*Inventum novum* de Jacques de Billy, 3° du *Commercium epistolicum* de Wallis.

Je n'ai rien à dire, ni de la traduction de l'*Inventum novum* du Jésuite de Billy, ni de celle du *Commercium epistolicum* de Wallis, si ce n'est qu'elles sont parfaites.

Ce sont là, on le sait, deux pièces indispensables à l'intelligence des écrits de Fermat.

L'*Inventum novum* fait connaître toute cette partie, si négligée aujourd'hui, des recherches arithmétiques de Fermat qui intéressait le plus ses contemporains. Il donne la clef d'un grand nombre d'*Observations sur Diophante* et présente la solution de problèmes numériques vraiment difficiles. Peu abordable dans le texte latin, l'*Inventum* est néanmoins un complément indispensable des *Œuvres* de Fermat et ne vaut guère que par là. En soi, c'est un ouvrage de second ordre. Une réédition du texte original eût été sans objet, une traduction pouvait rendre de véritables services.

En ce qui concerne le *Commercium* de Wallis, il ne s'agissait que de faire mieux connaître en France une série de lettres très importantes pour l'histoire de la science, lettres dans lesquelles Fermat et ses découvertes jouent le principal rôle. Suffisamment répandu, soit dans l'édition *princeps*, soit dans celle des *Œuvres* de Wallis, une réédition présentait de nouveau peu d'intérêt, tandis qu'une traduction était des plus utiles.

Reste la partie la plus importante du volume : la traduction des écrits latins de Fermat lui-même.

A ce propos, Tannery réclame l'indulgence du lecteur. Sa version, assure-t-il, n'est pas ce qu'elle aurait pu être. Sans doute il y avait mis tous ses soins et il avait fait de son mieux ; mais on lui avait doublé la difficulté en l'obligeant à la publier en volume séparé. Quant à lui, il eût voulu la donner en regard du texte latin.

Je ne saurais lui donner tort et si, comparant Tannery

à Tannery, je rapproche sa traduction de Diophante de celle de Fermat, je ne fais pas difficulté de reconnaître que la première est effectivement encore supérieure à la seconde.

Surtout ne lui en faisons pas de reproches.

Lorsque texte et traduction peuvent se lire en regard, il est permis de sacrifier franchement à la clarté. C'est tout gain pour le mathématicien, c'est sans sérieux inconvénient pour l'historien de la science qui doit, par nécessité professionnelle, être assez philologue pour pouvoir contrôler par lui-même l'exactitude de la version qu'on lui présente. Dans une traduction séparée, il faut suivre l'original de plus près au risque d'être obscur. La difficulté est de trouver le juste milieu.

Tannery a donc dû traduire Fermat dans de fâcheuses conditions, obligé qu'il était de choisir à chaque instant entre deux tendances opposées, dont aucune ne pouvait être sacrifiée en principe : chercher à être clair en tenant compte des habitudes modernes, suivre assez fidèlement le texte pour ne pas en donner une simple paraphrase.

Pourquoi ces réflexions ? Ce n'est certes pas pour déprécier la traduction de Tannery. Mais, ayant fait un ouvrage excellent, il s'est attaché à nous apprendre lui-même, et avec insistance, ce qui l'avait empêché de le rendre meilleur encore : « Je ne me dissimule pas, dit-il, que du compromis que j'ai essayé entre ces deux tendances, il ne pouvait sortir une œuvre complètement satisfaisante (1). » Il convient de lui donner acte de cette déclaration.

Après cela, il ne faudrait pas prendre trop à la lettre les réserves qu'un excès de modestie lui a arrachées. Étant données les conditions qu'on lui imposait, on ne pouvait mieux réussir. Des multiples travaux de notre regretté confrère, le tome III des *Œuvres de Fermat* est même un

(1) *Œuvres de Fermat*, tome III, p. XI.

des meilleurs et en tous cas celui qui intéressera le plus le très grand nombre des mathématiciens.

V

Les *Œuvres de Descartes* (1), publiées par Charles Adam et Paul Tannery sous les auspices du Ministère de l'Intérieur et de l'Instruction publique, égalent au moins en importance les *Œuvres de Fermat* et les dépassent en étendue. Mais je ne veux pas encourir les reproches des lecteurs de la Revue, en leur répétant ce que M. G. Lechalas leur a déjà dit, mieux que je ne pourrais le faire. Je les renvoie aux savants comptes rendus qu'il a donnés des divers volumes de cette grande publication au fur et à mesure de leur apparition (2). Qu'il me suffise de rappeler en quelles circonstances la réédition des *Œuvres de Descartes* fut décidée.

La première édition des *Œuvres de Descartes* offrant quelque unité était celle de Victor Cousin (3), car les éditions précédentes, même celle de Blaeu en Hollande (4), n'étaient que des recueils factices conçus sans plan d'ensemble. Malgré le renom de l'éditeur, les *Œuvres de Descartes* par Victor Cousin n'étaient pas un chef-d'œuvre. Dans cette publication, faite tout entière en français, Cousin avait laissé de côté les textes originaux latins, il avait travaillé vite ; aussi les exigences de la critique, les progrès de l'érudition, lui firent bientôt reconnaître à lui-même (il en convenait de bonne grâce à la fin de sa vie) que son œuvre avait besoin d'être reprise.

(1) Paris, Cerf, in-4°, tome I, 1897 ; tome II, 1898 ; tome III, 1899 ; tome IV, 1901 ; tome V, 1903 ; tome VI, 1902. Les tomes I-V contiennent la correspondance qui est complète. Avec le tome VI commencent les œuvres.

(2) Revue des Questions scientifiques, t. XLIII, pp. 591-603 ; t. XLVI, pp. 236-241 ; t. XLVIII, pp. 272-280 ; t. L, p. 652-656.

(3) Onze vol. in-8°. Paris, Levrault, 1824-1826.

(4) Neuf vol. in-4°. Amsterdam, 1682-1701.

Plusieurs essais furent faits en ce sens sans aboutir. Il me faut rappeler au moins l'un d'eux, celui de M. Louis Liard, alors professeur à la Faculté des Lettres de Bordeaux. C'était vers les années 1874 à 1880. Si j'en parle ici, ce n'est pas que cet essai ait eu plus de succès que d'autres, mais Tannery s'y intéressa et dès lors il avait songé sérieusement à rééditer, avec l'aide de M. Liard, les *Œuvres de Descartes* (1).

Sur ces entrefaites, en 1884, la direction de l'Enseignement supérieur au Ministère de l'Instruction publique échut à M. Louis Liard et lui imposa d'autres devoirs. Ce premier projet n'eut pas de suites.

Cependant les recherches nécessitées par son édition des *Œuvres de Fermat* avaient conduit Tannery à faire une étude approfondie de la correspondance inédite de Mersenne. Il n'eut garde d'y négliger les lettres de Descartes. C'est ce qui lui permit d'apporter bientôt deux contributions de premier ordre à la correspondance et à l'histoire littéraire du philosophe français. D'une part il publiait, dans l'Archiv für Geschichte der Philosophie (2), quatorze lettres inédites de Descartes à Mersenne, soigneusement triées parmi les cinquante-sept pièces manuscrites que possèdent à elles trois, la Bibliothèque Nationale, la Bibliothèque Victor Cousin et la Bibliothèque de l'Institut (3) ; d'autre part il donnait, dans le Bulletin des Sciences Mathématiques, une étude magistrale sur ces mêmes lettres. Cette dernière existe aussi en volume séparé sous le titre : *La correspondance de Descartes, dans les inédits du fonds Libri, étudiée au point de vue de l'Histoire des Mathématiques* (4).

(1) L'ouvrage intitulé *Descartes*, par Louis Liard, recteur de l'Académie de Caen, Paris, Germer Baillière, 1882, in-8°, subsiste comme un témoignage durable de ces premiers travaux.

(2) Berlin, Reimer, 1891, t. IV, pp. 442-449 et 529-556 ; 1892, t. V. pp. 217-222 et 469-477.

(3) Années 1891 et 1892.

Paris, Gauthier-Villars, 1893.

Mais le troisième centenaire de Descartes approchait. On ne pouvait mieux le célébrer que par une réédition de ses œuvres. M. Émile Boutroux l'annonça dans la REVUE DE MÉTAPHYSIQUE ET DE MORALE du 15 mai 1894, et le directeur de cette REVUE, M. Xavier Léon, se fit le promoteur de l'entreprise. Paul Tannery était l'homme désigné pour en prendre la direction ; il se réserva surtout la partie scientifique. M. Charles Adam, après plus de dix années d'études sur l'histoire de la philosophie en France, dans la première moitié du XVIIe siècle, connaissait bien la partie philosophique des œuvres de Descartes ; c'était un collaborateur à souhait.

Le troisième centenaire de la naissance de Descartes fut célébré à la Sorbonne, le 31 mars 1896, entre philosophes et savants, sous la présidence de M. Liard. Après une allocution du président, la parole fut donnée aux deux collaborateurs, à M. Tannery pour une lecture sur *Descartes physicien*, à M. Adam pour une conférence intitulée : *A la recherche des papiers de Descartes* (1).

Bientôt M. Léon eut réuni, grâce à la publicité de sa REVUE, un nombre suffisant de signataires pour l'édition prochaine. Le Ministère souscrivit pour deux cents exemplaires. Le 15 juillet 1896, la REVUE DE MÉTAPHYSIQUE ET DE MORALE donna, comme prime aux souscripteurs, un fascicule consacré tout entier à Descartes. Un comité international patronna la souscription, non seulement en France, mais dans l'Europe entière et jusqu'en Amérique. Dès lors le succès de l'entreprise était assuré. Le premier volume parut en 1897, et les autres lui succédèrent rapidement ; le dernier a été publié en 1903.

Et maintenant comment ne pas exprimer ici, à la fois, un regret et un vœu ? Les *Œuvres de Fermat*, les *Œuvres de Descartes* restent inachevées ! Mais Tannery a laissé

(1) Elles ont été publiées dans la REVUE DE MÉTAPHYSIQUE ET DE MORALE, Paris, t. IV, 1896, pp. 478-488 (Descartes physicien); pp. 575-583 (Autographes et copies manuscrites de Descartes).

de savants amis qui prendront sans doute à cœur de terminer son œuvre. On peut compter que les éditions nationales des œuvres de Fermat et de Descartes seront menées à bonne fin !

VI

A tout âge il est bon de se remettre par moments à l'école des maîtres, et Diophante, Fermat, Descartes sont des maîtres à la lecture desquels le géomètre s'instruit toujours. Voilà ce qui explique la prompte notoriété acquise aux rééditions de leurs œuvres et le succès de popularité qu'elles valurent au nom de Tannery. Il n'en est plus de même des quelques éditions dont il me reste à parler. D'intérêt moins général, elles sont exclusivement destinées aux historiens de la science ; aussi serai-je bref.

Et tout d'abord je ne m'étendrai guère sur *Une correspondance d'Écolâtres au XIe siècle* (1). Aussi bien, ai-je autrefois présenté aux lecteurs de la Revue (2) Rodolphe de Liége et Ragimbold de Cologne, les deux épistoliers qui l'ont écrite. Je m'en réfère à ce que je leur en ai dit alors. Il me sera cependant bien permis d'insister une fois de plus sur l'importance de cette correspondance pour l'histoire scientifique et littéraire de notre pays. De toutes les publications de Paul Tannery, c'est celle qui intéresse le plus la Belgique. La *Correspondance d'Écolâtres* parut en 1901.

Tannery connaissait de longue date toutes les époques de l'histoire des mathématiques ; mais c'est vers la fin de sa vie qu'il s'intéressa plus particulièrement à l'état de l'enseignement des sciences au moyen âge. La première

(1) Notice et Extraits des Manuscrits de la Bibliothèque Nationale, t. XXXVI, 2e partie, 1901, pp. 487-543.

(2) Dans mon *Bulletin d'Histoire des Mathématiques* d'avril, 1902, t. LI, pp. 669-673.

excursion sérieuse qu'il fit dans cette partie du domaine de l'histoire eut lieu en 1897. Elle eut pour objet la publication du *Traité du Quadrant de maître Robert Anglès*, dont il donnait le texte latin et une ancienne version grecque.

Ce *Traité du Quadrant* fut d'autant plus remarqué que deux ans plus tard le regretté Maximilien Curtze donnait à son tour, dans le *Cantors Festschrift* (1), une traduction allemande du même ouvrage : *Der Tractatus Quadrantis des Robertus Anglicus in deutscher Uebersetzung aus dem Jahre 1477* ; preuve évidente de la vogue dont ce manuel, autrefois classique, avait longtemps joui. Tannery a raconté récemment lui-même, dans le JOURNAL DES SAVANTS (2), l'histoire de cette double publication, presque simultanée, d'un même traité du moyen âge, et comment M. Moritz Cantor le mit, à cette occasion, en relations avec Curtze.

Robertus Anglicus, Robert l'Anglais ou Anglès, comme traduit Tannery sous la forme méridionale actuelle, était un maître enseignant à Montpellier, au XIIIe siècle. Son *Traité du Quadrant* est une géométrie pratique. L'auteur y enseigne les opérations d'arpentage (altimétrie et planimétrie) en y ajoutant les formules élémentaires pour les mesures des volumes et des surfaces. L'intérêt du *Traité du Quadrant*, bien que purement documentaire, est cependant considérable. Comme la *Correspondance d'Écolâtres*, il parut dans les NOTICES ET EXTRAITS DES MANUSCRITS DE LA BIBLIOTHÈQUE NATIONALE (3).

(1) ABHANDLUNGEN ZUR GESCHICHTE DER MATHEMATIK, Leipzig, Teubner, t. IX, 1899, pp. 41-43.

Tannery collabora à ce volume par un article intitulé : *Les Excerpta ex M.SS. R. Descartes*, pp. 501-513.

(2) Nouvelle Série, t. II, août 1904, pp. 461-463. Dans un article intitulé : *Maximilien Curtze, historien des Mathématiques*, qui est en même temps un compte rendu des *Urkunden zur Geschichte der Mathematik im Mitelalter und der Renaissance*, par Curtze.

(3) Paris, 1897, t. XXXV, 2e partie, pp. 561-640.

C'est au même recueil que Tannery donna encore les *Traités d'arpentage et de géométrie d'Epaphroditus et de Vitruvius Rufus* (1). Mais l'établissement du texte de cette édition est à proprement parler, cette fois, l'œuvre de M. Victor Mortet, et Tannery n'en a écrit que l'introduction. Cette publication a pour but de mettre à la disposition des savants un document nouveau touchant une question obscure et très complexe, je veux dire : les sources utilisées par les auteurs des deux compilations connues sous le nom de *Géométrie de Boëce* et *Géométrie de Gerbert* dont le rôle fut si considérable au moyen âge. Tannery avait à ce sujet des idées personnelles auxquelles il tenait beaucoup, idées qu'il savait défendre avec vivacité, par des arguments aussi ingénieux que solides.

VII

Nous venons de passer en revue les grandes éditions publiées par Paul Tannery ; il nous resterait à parcourir les articles et les notes qui ont vu le jour dans les recueils périodiques les plus divers ; mais ici l'énumération devient impossible. Une notice nécrologique que j'ai sous les yeux les évalue à plus de quatre cents ; je crois le chiffre beaucoup au-dessous de la vérité.

Les articles sont ou des articles originaux, ou des comptes rendus ; mais on aurait tort de distinguer les uns des autres. Tannery avait une manière à lui d'entendre le compte rendu que seule sa vaste érudition rendait possible. Quand il présentait au lecteur un livre de science ou d'histoire, il profitait le plus souvent de l'occasion qui lui était offerte pour exposer ses vues personnelles, soit sur le sujet qu'avait traité l'auteur, soit sur quelque sujet connexe. Les comptes rendus donnés dans le Bulletin

(1) Paris, 1897, t. XXXV, 2e partie, pp. 511-550.

DES SCIENCES MATHÉMATIQUES sont des modèles du genre et souvent de vraies pages d'histoire. Il en est de même des innombrables réponses aux questions posées dans l'INTERMÉDIAIRE DES MATHÉMATICIENS que leur brièveté ferait bien à tort regarder comme négligeables. J'en pourrais citer beaucoup contenant des informations qu'on ne trouve que là. Et pour montrer au moins par un exemple l'importance que prenaient, à l'occasion, les petites notes et les comptes rendus de Tannery, n'est-ce pas une indication donnée dans un compte rendu des *Urkunden* (1) de Curtze qui a mis Favaro sur la voie et lui a fait écrire ces savantes pages dans lesquelles il dévoile l'anonyme qui se cachait sous le nom de Léonard de Crémone (2) ?

Quant aux articles originaux, ils sont eux-mêmes d'étendue et d'importance très diverses. Tannery avait pour habitude, dès qu'un point de philosophie, de philologie, de mathématique ou d'histoire s'éclaircissait à ses yeux, d'en faire l'objet de quelques pages et de les distribuer aux nombreux recueils périodiques qui se disputaient sa collaboration. La BIBLIOTHECA MATHEMATICA et la REVUE DES ÉTUDES GRECQUES furent, en ces dernières années, spécialement favorisées à cet égard. Elles n'étaient pas les seules, car on retrouve sa signature dans le ZEITSCHRIFT FÜR MATHEMATIK UND PHYSIK, la REVUE ARCHÉOLOGIQUE, la REVUE DE PHILOLOGIE, la REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES, les ANNALES DE PHILOSOPHIE CHRÉTIENNE, la REVUE DE PHILOSOPHIE, la REVUE CRITIQUE, les COMPTES RENDUS HEBDOMADAIRES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, le BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES INSCRIPTIONS et bien d'autres.

Cependant les amis de Tannery le pressaient vivement de publier un livre d'ensemble. Quatre *Revues générales*

(1) Dans l'article du JOURNAL DES SAVANTS, cité ci-dessus.

J'ai rendu compte ici des *Urkunden* de Curtze, dans mon *Bulletin d'Histoire des Mathématiques et des Sciences* de janvier 1904, t. LV, pp. 288-294.

(2) *Nuove ricerche sul Matematico Leonardo Cremonese*, BIBLIOTHECA MATHEMATICA, 3e série, t. V, 1904, pp. 326-341.

publiées dans la REVUE DE SYNTHÈSE HISTORIQUE (1), respectivement sur les *Mathématiques*, la *Mécanique*, la *Géographie* et l'*Astronomie*, montraient avec quel art il savait grouper les faits et en montrer l'enchaînement. Cédant aux instances qu'on lui faisait de toutes parts, il avait enfin promis d'écrire le livre qu'on lui demandait, l'avait même annoncé dans la REVUE DE SYNTHÈSE HISTORIQUE (2), en avait indiqué l'esprit et donné le plan. La mort est venue empêcher la réalisation de ce projet ; mais en réunissant les chapitres écrits par lui dans l'*Histoire générale* de Lavisse et Rambaud (3), on formerait un volume bien intéressant qui le suppléerait en partie.

Nous ne pouvons oublier cependant, ni le volume qui résume les travaux de la 5me section du Congrès international d'Histoire, tenu à Paris en 1900 (4), ni les notions historiques ajoutées aux *Notions de Mathématiques* de M. Jules Tannery (5), ni les notes historiques très nombreuses ajoutées au premier article de l'édition française de l'*Encyclopédie mathématique* (6).

Tannery n'a signé aucun article dans la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, mais il s'intéressait vivement aux publications de la Société scientifique et j'en ai eu à diverses reprises la preuve personnelle. J'avais publié dans les ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE, *Deux lettres inédites de Grégoire de Saint-Vincent* (7). Tannery prit aussitôt les devants et, convaincu de m'obliger, il m'en-

(1) T. I, 1900, pp. 179-195 ; t. II, 1901, pp. 282-299 ; t. IV, 1902, pp. 191-204 ; t. VI, 1903, pp. 301-316.

(2) T. VIII, 1904, pp. 1-16. J'en ai rendu compte ici dans mon *Bulletin d'Histoire des Mathématiques et des Sciences* d'octobre 1904, t. LVI, pp. 662 et 663.

(3) Douze volumes in-8°. Paris, Colin, 1893-1901.

(4) ANNALES INTERNATIONALES D'HISTOIRE. Congrès de Paris, 1900, 5me section, Paris, Colin, 1901. Tannery y publia lui-même une série très intéressante de lettres adressées au P. Mersenne (pp. 311-343) par des correspondants de la région bordelaise.

(5) Paris, Delagrave (1902).

(6) Paris, Gauthier-Villars ; et Leipzig, Teubner, 1904.

(7) T. XXVI, 1902, pp. 22-40.

voya le texte de deux autres lettres du Jésuite brugeois à Mersenne, possédées par la Bibliothèque Nationale, à Paris (1). Depuis lors il fut pour moi d'une courtoisie et d'une complaisance que rien ne pouvait lasser et, trois semaines à peine avant sa mort, gravement atteint déjà par la maladie, il m'envoyait encore un éclaircissement sur un point obscur des relations de Viète et d'Adrien Romain, qu'il croyait de nature à m'intéresser.

Les articles nécrologiques consacrés à la mémoire de Paul Tannery expriment unanimement le regret de la demi-obscurité dans laquelle il vécut en France. A l'étranger l'admiration qu'on avait vouée à ses travaux était sans réserve, et les témoignages d'approbation qu'ils reçurent aux récents Congrès de Rome, de Genève et de Heidelberg en sont la meilleure preuve.

H. Bosmans, S. J.

(1) Elles ont été publiées l'année suivante dans mes *Documents inédits sur Grégoire de Saint-Vincent* (Annales de la Société scientifique, t. XXVII, 1903, pp. 45-47).

LES MISSIONS CATHOLIQUES

ET

LES LANGUES INDIGÈNES (1)

Une note récente de Mgr Monchamp (2) a ramené l'attention sur le réquisitoire qu'il y a une année environ, M. Paul Fredericq prononçait en séance de l'Académie royale contre ce qu'il appelait « la méthode linguistique d'évangélisation adoptée par Rome » (3). L'accusation n'avait guère de sérieux que le nom de son auteur et le lieu où elle s'est produite. Mais de ce chef elle méritait une réponse, qui n'a peut-être pas encore perdu son opportunité. Il importe que des savants de la valeur de M. Fredericq n'engagent leur autorité qu'à bon escient, surtout contre la réputation d'autrui : toutes les réserves qu'ils ont soin de formuler sur leur propre compétence n'empêchent pas qu'ils soient pris au mot par une fraction du public qui, à raison de ce qu'ils savent, leur fait volontiers crédit de ce qu'ils ignorent. Le contrôle n'est pas possible à tous ; puis, comme dit le proverbe, « le pavillon couvre la marchandise ».

(1) La revue des MISSIONS BELGES DE LA COMPAGNIE DE JÉSUS a publié sous ce titre, dans sa livraison du 1er janvier 1905, un article que l'auteur et le directeur de la revue nous avaient autorisé à reproduire. A notre demande, l'auteur a bien voulu ajouter à son premier travail d'importants compléments. C'est cette nouvelle rédaction que nous publions ici (N. D. L. R.).

(2) Académie royale de Belgique. BULLETIN DE LA CLASSE DES LETTRES, 1904, p. 471.

(3) IBID., 1904, pp. 738 et suiv.

Il s'agissait, nous dit-on, d'apprécier les principes appliqués respectivement par Rome et par Byzance à la langue maternelle des peuples convertis. Les deux méthodes se jugent par leurs effets : d'une part, grâce à Byzance, les littératures slaves se développent avec une maturité précoce ; de l'autre, par la faute de Rome qui les sacrifie « systématiquement » (p. 744) à son latin liturgique, les langues germaniques languissent dans une interminable enfance. A ce contraste si décisif en faveur de l'Église grecque, M. Fredericq ajoute les « témoignages concordants » que lui fournissent les littératures copte, syriaque et arménienne, pour arriver enfin à une réflexion qu'il faut citer en propres termes : « De nos jours, sous nos yeux, les missionnaires catholiques et les missionnaires protestants appliquent encore les deux méthodes dans leur évangélisation des sauvages. Les apôtres de l'Église romaine apportent le latin comme langue liturgique et ne traduisent que les prières et les instructions religieuses indispensables. Au contraire, les missionnaires protestants s'empressent d'offrir aux nouveaux convertis une Bible complète, ou tout au moins un Nouveau Testament translaté dans leur langue et imprimé aux frais de la Société biblique de Londres, qui en a édité dans une infinité de patois sauvages (pp. 751 et 752). »

Ce n'est pas notre faute si, dans cette glorification du régime orthodoxe, nous croyons voir percer le dessein préconçu d'humilier le despotisme borné du clergé latin et catholique. Un Grec tant soit peu instruit serait embarrassé d'accepter, pour son église, ces éloges à double fin. La Syrie a reçu l'Évangile dès le temps des Apôtres. A une époque presque aussi reculée, il avait déjà pénétré en Égypte. L'Arménie était officiellement chrétienne bien avant Constantin. S'il est vrai que dans tous ces pays l'apparition de la foi fut marquée par une aurore brillante du génie national, comment veut-on que Byzance en ait

l'honneur ? Mais l'essentiel pour M. Fredericq est que les institutions sagement libérales des rites orientaux, qu'elles viennent de Byzance ou d'ailleurs, soient en opposition avec la pratique romaine et la condamnent. Cette rectification de noms laisse la question entière.

Mais il s'agit bien de mots ! Éliminons, pour commencer, l'exemple de l'église égyptienne, dont la langue officielle fut d'abord le grec pendant trois siècles pour le moins. Vers le déclin du ve siècle seulement, après qu'elle fut devenue en majorité monophysite, elle adopta pour sa liturgie un des dialectes indigènes, à l'effet de mieux marquer sa séparation d'avec les Melkhites, qui avaient conservé l'idiome officiel de l'Empire. Jusque-là les Coptes chrétiens avaient prié en langue étrangère et vécu sous le haut gouvernement de patriarches qui ne les comprenaient que par interprète, ou ne les comprenaient pas du tout. « Byzance » n'avait vu à ce régime aucun inconvénient : elle ne contribua à le changer que par les maladresses de sa politique louvoyante et par son esprit d'opposition à Rome, qui préparèrent la défection de l'église égyptienne et tout ce qui s'ensuivit.

La situation n'était guère différente dans la Syrie cis-euphratique. Là aussi, le grec fut primitivement la langue liturgique et le resta jusqu'à l'organisation de la hiérarchie monophysite ou jacobite vers le milieu du vi^e siècle. Comme en Égypte, la révolution linguistique s'accomplit contre le gré de l'église impériale. Elle épargna du reste la partie du ressort d'Antioche qui demeura fidèle à la communion et à la langue de Byzance. De nos jours les Syriens de rite grec, melkhites et autres, officient en arabe, mais ils regardent comme essentiel à l'honneur de leur liturgie de n'avoir jamais fait usage du syriaque. Si M. Fredericq tient à leur faire quelque politesse mortifiante pour l'église de Rome, qu'il y prenne garde : il pourrait leur lancer, sans le vouloir, un très mauvais compliment.

Pour l'Arménie, il ne serait point tout à fait exact de parler d'une langue liturgique officielle. Les conditions dans lesquelles l'Église s'y organisa semblent avoir été déterminées par la nécessité pratique et sous la pression des circonstances plutôt qu'en vertu d'un système arrêté. Mais, en fait, cet état provisoire dura deux siècles environ et, pendant ce long espace de temps, la vie intellectuelle et religieuse de la nation fut tributaire d'un idiome étranger : est-il besoin de nommer le grec ? Selon toute apparence, ce fut dans une espèce de patois hellénisant que, vers la fin du IVe siècle, le premier écrivain arménien, Fauste de Byzance, rédigea son histoire d'Arménie. Nombre d'années se passèrent avant qu'on ne s'avisât de créer un alphabet pour la langue du pays. Cette situation aurait peut-être duré indéfiniment, si le grec n'avait été battu en brèche par la concurrence victorieuse du syriaque avec lequel, semble-t-il, il eut à compter dès l'origine (1). Le résultat de cette rivalité entre l'élément hellénique et l'élément araméen fut qu'une réaction nationale, précipitée par les événements politiques, les évinça tous les deux. L'arménien reprit possession de son domaine naturel ; mais, derechef, Byzance n'eut dans cette restitution que le mérite de se laisser éconduire, à son corps défendant.

Ces quelques faits montrent déjà grâce à qui et dans quelle mesure les diverses confessions orientales ont échappé à l'état de choses qu'on juge avoir été si fatal à certaines littératures de l'Occident.

Car si la littérature germanique fut lente à éclore et plus lente à se développer, la faute en est, paraît-il, à cette malencontreuse liturgie latine, qui n'est accusée ni plus ni moins que d'avoir *écrasé* les idiomes locaux.

(1) L'histoire mise sous le nom d'Agathange rapporte que Grégoire l'Illuminateur, le saint Patrice de l'Arménie, couvrit toute la contrée d'écoles grecques et syriaques auxquelles le roi Tiridate recruta des élèves par un procédé assez sommaire (Cfr. *Agathangełaj Patmuthiun*, Venise, 1862, pp. 625 et 626).

Écrasé est bien un peu fort ; disons *gêné*, et admettons, ce qui est encore beaucoup moins clair, que ce soit à titre de langue liturgique officielle : la race germanique, à regarder les choses de sang-froid, aurait-elle tant sujet de maudire l'église de Rome ? En prenant racine sur le sol qui devait être par excellence celui de la philologie classique, le latin y implantait avec lui le germe de la haute culture. Qu'on le veuille ou non, il fut pendant des siècles l'organe exclusif de la civilisation. Dut-il uniquement son privilège à la religion qui l'avait adopté ? Si quelqu'un de nous osait le prétendre, il se ferait accuser d'attribuer au christianisme une influence exorbitante sur les destinées de l'Europe. La domination romaine et le prestige de l'antiquité classique avaient déjà assuré au latin la prépondérance en Occident, lorsque l'église catholique l'appela au service des autels. A prétendre se passer de son concours, elle n'eût sans doute abouti qu'à se diminuer elle-même et à gêner sa mission. Si, en se l'attachant, elle lui assura pour de longs siècles un privilège à peu près exclusif, elle n'a de ce chef ni pardon, ni excuse à demander. Quoi qu'on allègue contre l'idiome savant du moyen âge, son règne fut un bienfait, et rien n'autorise à penser que les différents idiomes nationaux coalisés ou plutôt isolés, sinon divisés les uns contre les autres, auraient suffi au rôle que le latin remplit si glorieusement. Avant de gémir sur l'intrusion de cette « langue étrangère internationale » qui usurpa le rôle d'exprimer « presque toutes les grandes pensées », il conviendrait de se demander si la langue qui traduisit ces « grandes pensées » n'avait pas commencé par les apporter dans le pays. M. Fredericq ne s'en est pas assez souvenu quand il jetait un regard d'envie vers ces littératures indigènes qui ont fleuri en Orient sur le sol laissé libre par l'idiome officiel de la métropole ecclésiastique. Préférer des pauvretés dans le parler de chez soi à des idées présentées sous une forme de nationalité étrangère, c'est ainsi que les mandarins

conçoivent la culture et le progrès. Le distingué professeur nous parle de la littérature copte ; qu'est-ce que la littérature copte ? De la littérature syriaque ; qu'est-ce que la littérature syriaque, déduction faite de ce qu'elle emprunta à l'hellénisme et s'assimila tant bien que mal ? De la littérature arménienne ; qu'est-ce, comme valeur originale, que la littérature arménienne, dont l'âge d'or s'appelle le « siècle des Traducteurs » ? Sans doute, Arméniens et Syriens possèdent en propre quelques ouvrages renommés, mais, au total, rien qu'on puisse égaler aux chefs-d'œuvre des Pères grecs, ni même des latins. Et quand les productions du terroir commencèrent à se multiplier chez eux, la littérature avait déjà perdu son caractère vraiment national. M. Fredericq a laissé surprendre son admiration.

Les Slaves aussi sont riches principalement d'une richesse empruntée. L'importance des anciennes versions bulgares ou slavonnes des auteurs grecs méritait assurément d'être mise en lumière ; mais à entendre comme M. Fredericq y insiste, on se rappelle le mot de Montesquieu : « Si vous traduisez toujours, on ne vous traduira jamais. » Du reste, il s'en faut de beaucoup que ces reproductions plus ou moins fidèles de livres grecs aient eu, pour leurs lecteurs d'alors, la haute portée que l'altération ou la disparition des originaux leur a donnée après coup aux yeux de la philologie moderne. Quelques œuvres, pas toujours bien judicieusement choisies, devinrent accessibles à un public qui peut-être ne s'en souciait guère. En revanche, pour s'être trop longtemps réduite au rôle de truchement, l'élite intellectuelle de la race abdiqua l'ambition et perdit le moyen de prendre part au travail créateur de la science et de la pensée. La suite des événements montra ce que l'esprit public avait gagné à être façonné par des interprètes, au prix desquels le *servum pecus* des imitateurs et des glossateurs fait preuve d'invention et de fertilité. Les épigones de ces translateurs en dégénérèrent

encore. Quand, au XVIIe siècle, le patriarche Nicôn entreprit cette revision des livres sacrés, qui eut pour lui et pour la Russie des conséquences si tragiques, il ne trouva pas, dans tout son clergé, la petite poignée d'érudits qui aurait pu mener à bien ce travail. Il fallut recourir aux moines grecs de Constantinople et de l'Athos, comme 150 ans auparavant, le Tsar Vassily IV avait, pour la même fin, appelé Maxime le Grec, que cette aventure conduisit à la prison.

Ainsi, même dans l'ordre de connaissances que la littéture slavonne ecclésiastique devait le plus naturellement favoriser, l'ignorance était universelle. Dans l'Occident latin ou latinisant, l'Allemagne y comprise, la théologie, la philosophie, les sciences profanes avaient déjà un glorieux passé, quand le génie russe dormait encore. La Moscovie orthodoxe fut même devancée sous ce rapport par la Pologne latine et catholique. M. Fredericq explique ce fait par les invasions tatares, qui arrêtèrent la pensée russe sur le chemin de « destinées extraordinairement brillantes ». C'est une raison d'avocat. Ni Pskow, ni « la grande Novgorod » ne subirent la domination de la Horde : on ne voit pas que la culture intellectuelle y ait pris une avance notable. Quand Moscou redevint libre et puissante, sous le règne des grands « Rassembleurs de la terre russe », elle ne s'empressa guère de mettre à profit cette période de prospérité que les historiographes nationaux décrivent avec tant de complaisance. Elle attendit que le branle lui fût donné par la Russie du Sud, où, grâce au contact avec les Slaves latins, la vie intellectuelle s'était activée plus tôt, non sans doute par sympathie, mais par antagonisme. Forcée de lutter contre la propagande catholique, Kiew emprunta la méthode et l'esprit des adversaires avec lesquels elle vivait en lutte constante. Son Académie « devint le séminaire de la haute culture dans toute la Russie, et la première école supé-

rieure qui fut fondée à Moscou reçut le nom significatif d'Académie slavonne-gréco-latine » (1).

Si au moins la langue russe s'était trouvée aussi bien qu'on le dit de ce régime dont la science eut si peu à se louer ! Mais, en Russie même, de très bons juges ont déclaré le contraire dans les termes les plus énergiques. « Cette idée (que les lettres russes procèdent du slavon) est une sorte de superstition nationale », s'écriait Nadejdinn. Selon lui, c'est précisément le slavon qui les a paralysées dès le principe (2). Et dans un autre article, l'intrépide critique expliquait la raison de leur longue impuissance. Faute d'avoir possédé, comme l'Europe occidentale, une langue liturgique trop distincte du langage courant pour se répandre dans la masse, la Russie est demeurée inféodée à un idiome archaïque. Tandis que le latin devait rester à l'usage exclusif du pédantisme livresque et finir dans la poussière des archives, le slavon, lui, à raison même de ses affinités avec le parler national, pouvait usurper le rôle de dialecte cultivé, artificiel et distingué. Ainsi a-t-il fait, pendant des siècles, pour le malheur de la vraie langue russe (3).

Nous ne prenons pas à notre compte ces assertions de polémiste qui sont peut-être paradoxales dans les deux sens à la fois. Mais elles partent d'un fait qui est l'évidence même, et qui veut une explication. Toutes les langues européennes possèdent déjà une littérature au sens moderne du mot, quand le russe en est encore à attendre les premiers essais de Lomonossof. D'où vient cette longue torpeur ? Si M. Fredericq était conséquent avec lui-même, il devrait répondre : De ce que, entre la classe instruite et le gros de la nation moscovite, il manqua « ... cet entre-cours incessant, si bienfaisant et si indis-

(1) A. J. Pypinn. *Izutschenija Russkoj narodnosti*, dans VÈSTNIK ÉVROPY, juin 1882, p. 642.

(2) Cité par Pypinn, *loc. cit.*, pp. 639-640.

(3) Résumé par Pypinn (p. 640), qui paraît bien être un peu du même avis.

pensable au progrès, qui agit librement et si efficacement chez les nations placées dans des conditions naturelles d'hygiène linguistique, si l'on peut dire, grâce à une langue maternelle unique et la même pour les grands et les petits, pour le savant comme pour l'ignorant » (p. 741).

Car, s'il ne s'agit que de communiquer avec le peuple, le monde lettré de Russie au bas moyen âge aurait aussi bien pu parler grec. Ce dualisme si fatal, paraît-il, qui, par le fait du latin, séparait en Occident la langue du vulgaire et celle de la classe savante, il s'introduisit dans le monde slave un peu plus tard, mais presque aussi totalement. L'ancien slavon ecclésiastique ou paléoslovène, compris du peuple à l'origine, s'immobilisa dans sa fixité hiératique, pendant que la langue usuelle allait évoluant toujours. Le peuple finit par ne plus l'entendre beaucoup mieux que les paysans de nos campagnes ne comprendraient maintenant le roman de Renart ou la chanson de Roland.

Pour des raisons diverses, une situation identique s'établit dans toutes les littératures citées en exemple par M. Fredericq, sans une seule exception. Dès la conquête musulmane, le syriaque remplacé par l'arabe disparut de l'usage courant. Sauf une région de la Perse et quelques districts de plus en plus morcelés du Liban, de la Damascène et de la Mésopotamie, il était langue morte à la fin du VIIIe siècle au plus tard. Michel le Syrien, et Barhebreus, bornons-nous aux exemples choisis par M. Fredericq, écrivaient pour une petite aristocratie intellectuelle composée surtout de moines et autres gens d'église. L'arménien classique semble être resté plus longtemps en pleine sève. Pourtant, d'assez bonne heure il prit aussi le caractère d'une langue savante à l'usage exclusif des lettrés. Chez les Coptes, l'unité linguistique fut toujours plus apparente que réelle, et elle ne dura guère. Le dialecte adopté par la liturgie, celui du Delta ou bohaïrique, diffère sensiblement des autres, surtout du saïdique ou

dialecte de la haute Égypte, qui fut l'organe le plus vivace de la littérature indigène. Malgré sa situation privilégiée, il fut aussi le premier à dépérir après la conquête arabe. Un à un, les autres s'éteignirent à leur tour. Dès le xe siècle, Sévère, évêque d'Eschmûnaïn dans le Saïd, se croit obligé de traduire en arabe les fastes pontificaux des patriarches d'Alexandrie, « parce que, dit-il, le commun des hommes n'entend plus le grec ni le copte » (1). Sans grand effort de modestie, il aurait pu se comprendre lui-même dans le nombre, car on voit qu'il a dû réquisitionner, pour l'aider dans son œuvre, les plus forts clercs de son entourage ; et le texte arabe qui résulta de leurs efforts combinés donne lieu de croire que le travail ne marcha pas sans difficultés. A quelque temps de là, le copte était bien mort, sans que, du reste, il cessât pour si peu d'être psalmodié à l'ambon des églises monophysites. Si depuis lors il a repris une sorte de vie posthume dans les travaux des érudits, il la doit au jésuite qui parvint à le déchiffrer ; car le retour d'intérêt qui sauva de l'oubli et peut-être de la destruction les débris de cette indigente littérature a certainement été provoqué par la *Lingua aegyptiaca restituta* du P. Athanase Kircher, S. J. (2).

Ainsi, quoi qu'il en soit des causes qui ont contrecarré la « méthode linguistique d'évangélisation » suivie par l'église orientale, il reste que cette méthode n'a pas fourni

(1) Cfr. *History of the Patriarchs of the Coptic Church of Alexandria*. Arabic text edited... by B. Evetts. Dans la PATROLOGIA ORIENTALIS de Mgr Graffin, t. 1, fasc 2. Paris, 1904, p. 115 [17].

(2) Publié à Rome, de 1643 à 1644. Le *Prodromus Coptus sive Aegyptiacus*, de Kircher, avait paru sept ans auparavant à l'imprimerie de la Propagande. Rappelons, à ce propos, que c'est auprès de la Propagande et sous son influence que fut créé le centre d'études et de publications orientales, illustré par les Assemani, sur l'œuvre desquels la philologie syriaque a vécu jusqu'à nos jours. Le sauvetage de l'ancienne littérature arménienne et la création de la nouvelle sont aussi, pour une bonne part, un bienfait des religieux Mékhitaristes. Le premier livre imprimé en cette langue paraît être le psautier publié à Venise en 1565. Il porte au frontispice le portrait du pape Pie IV et de trois cardinaux (Cfr. *Haïkakan Matenagituthiun*. Venise, 1883, pp. 595 et 596).

le témoignage éclatant que l'on invoque contre la pratique romaine. Le plus piquant, c'est que Byzance elle-même, non pas la Byzance fictive du docte académicien, mais la vraie métropole orthodoxe, a laissé se créer chez elle et parvenir à l'état aigu le régime anormal qui est accusé d'avoir retardé la civilisation moderne en Occident. Sa langue officielle n'est plus celle du peuple. Le latin de nos humanistes ne passait pas plus haut par dessus les têtes qu'aujourd'hui le grec artificiel de la littérature néo-byzantine, tant sacrée que profane. Il est douteux que le respect de la liturgie soit pour beaucoup dans le mépris olympien que les hellénistes soi-disant classiques opposent aux partisans du grec moderne, qui les attaquent avec les propres arguments de M. Fredericq ; mais il sert de prétexte à leur résistance et à leurs fureurs. Quand, il y a juste trois ans, M. Pallis entreprit de traduire les Évangiles en dialecte romaïque, le clan des lettrés tourna contre le téméraire et ses complices des foudres plus meurtrières que celles de son éloquence. Le patriarche de Constantinople fut contraint de censurer la version sacrilège. Mais on ne s'en tint pas là. Le journal athénien l'*Acropolis*, qui la publiait, fut assailli par des émeutiers que les puristes conduisaient à l'assaut au cri de : « Brûlons-les ! » Le sang coula et le ministre Léridis déposa les palmes officielles sur la tombe des « martyrs », morts pour la langue et pour la religion. M. Jean Psichari a caractérisé avec beaucoup d'esprit les vraies causes de cette échauffourée (1), d'où il ressort que la Grèce, depuis la guerre de Troie, s'entend à trouver dans le moindre incident la matière d'une épopée héroïque ou burlesque. Mais on y voit non moins lumineusement jusqu'où Byzance a réussi à maintenir ses fidèles « dans des conditions naturelles d'hygiène linguistique ». Quand son

(1) Dans la REVUE (ancienne REVUE DES REVUES), t. XL (1902), pp. 19 et suivantes.

peuple lui demande un texte de l'Évangile qu'il puisse comprendre, on le lui refuse à coups de fusil.

C'est au nom d'une si contestable expérience que M. Fredericq a cru pouvoir jeter aux Missions catholiques le reproche d'engager leurs chrétientés naissantes dans une voie funeste au développement de l'esprit national. Une connaissance un peu plus directe de leur histoire lui aurait indiqué d'abord une distinction que l'exactitude commandait de formuler. Tous les missionnaires n'ont pas eu à tirer leurs néophytes du cannibalisme ou de la sauvagerie. Beaucoup d'entre eux se sont trouvés aux prises avec de vieilles civilisations fières de leur long passé, orgueilleuses surtout de leur science, de leurs arts et de leur langue. A quoi bon rappeler ici le cas de l'Orient chrétien ? Les ouvrages ascétiques, les traités d'instruction religieuse et de controverse, les vies de saints, les grammaires, dictionnaires et autres manuels didactiques, bref, les livres de tout genre, traduits ou rédigés par le calame infatigable des premiers missionnaires du Levant, encombrent aujourd'hui les rayons écartés de toutes les anciennes bibliothèques sémitiques. Chacun a pleine facilité de s'en assurer. Mais quelle fut l'attitude des prêtres catholiques en présence de la barbarie lettrée de la Chine, de Ceylan, de l'Inde ou du Japon (1) ? Il faut fermer les yeux à l'évidence pour leur prêter soit l'aberration de condamner leurs chrétiens à la déchéance intellectuelle, soit l'ambition plus inepte encore de faire prévaloir la culture latine dans une société païenne et barbare. Puisque c'est au développement des lettres indigènes qu'ils sont accusés d'avoir causé un préjudice inconscient ou délibéré, on ne répondrait à rien en invoquant les services qu'ils ont rendus

(1) Il serait plus exact de comprendre dans cette catégorie certaines nations de l'Amérique centrale. Mais pour la simplicité de l'exposition nous en parlerons en même temps que des peuplades sauvages qui les entouraient. Vice versa quelques populations hindoues devraient être considérées comme barbares.

à la linguistique européenne. Aussi bien nous voulons croire que tout homme sérieux comprendrait la nécessité de se taire sur l'histoire de cette science, s'il en était encore à ignorer ce qu'elle doit à un Gaston Cœurdoux, S. J., ou à un J. Ph. Wesdin (1) (Paulin de Saint-Barthélemy, O. C. P.) qui, le premier en 1767, le second en 1798 (2), démontraient la parenté des langues indo-germaniques, ou encore à ce prodigieux Lorenzo Hervas, S. J., auteur du *Catalogo de las Lenguas*, où plus de quarante langues disparates sont décrites et classées avec une méthode encore admirée des savants qui, de nos jours, se sont risqués à ces audacieuses synthèses.

Mais, mieux que ces recherches érudites destinées au public européen, nombre de travaux pratiques attestent l'effort incessant des missionnaires, non seulement pour s'assimiler les langues indigènes et s'y perfectionner, mais aussi pour en faciliter l'étude aux étrangers. Que pouvaient-ils de plus utile à l'effet de protéger les idiomes locaux, que l'acclimatation d'une langue vivante civilisée aurait compromis cent fois davantage que le latin ? Et c'est bien mal connaître la psychologie des auteurs que d'accuser ces vénérables initiateurs de la linguistique barbare d'avoir travaillé eux-mêmes à déprécier leur savoir et leurs livres.

Nous ne pouvons songer à donner ici une idée complète de ce que les missionnaires ont fait pour la littérature de l'Inde ou de l'Extrême-Orient. Il y aurait là la matière d'un livre dont le sommaire seul dépasserait deux ou trois fois les limites imposées à cet article. Ce livre a d'ailleurs été esquissé par un écrivain des plus compétents qui, sans

(1) Voyez Giuseppe Barone, *Vita, precursori ed opere del P. Paolino da S. Bartolomeo* (Filippo Wesdin). Naples, 1888.

(2) G. Cœurdoux, S. J., *Question proposée à M. l'abbé Barthélemy et aux autres membres de l'Académie des Belles-Lettres et Inscriptions* (MÉMOIRES DE L'ACAD. DES INSCR. ET BELLES-LETTRES, t. XLIX, pp. 657-667, cf. pp. 651-656). Paul. a S. Bartholomaeo, *De antiquitate et affinitate linguae Zendicae, Samscrdamicae et Germanicae*. Rome, 1798.

prétendre épuiser la documentation, a rempli de noms et de faits 51 pages de texte allemand (1). Le lecteur qui se reportera à cet essai nous excusera de n'avoir point entrepris de le résumer.

Voici, d'après cette source et d'autres, quelques détails précis.

Le premier sinologue connu est le P. Matteo Ricci, S. J., auquel M. Lodovico Nocentini a consacré une monographie dans les *Pubblicazioni* de l'Institut royal des études supérieures de Florence (2).

Le premier qui publia une grammaire chinoise est le dominicain Francesco Varo, dont le livre *Arte de la lengua Mandarina* (Canton, 1703) fut ensuite repris et augmenté par le franciscain Pedro de la Pinuela (3).

Le meilleur ouvrage de ce genre demeura longtemps la *Notitia linguae sinicae* par le P. J.-H. de Prémare, S. J., dont, au témoignage on ne peut plus compétent de G. von der Gabelentz (4), la célèbre grammaire chinoise d'Abel Rémusat n'est qu'un abrégé. On la rééditait encore à Hongkong en 1893.

Le premier dictionnaire japonais fut composé et imprimé par les jésuites du collège d'Amacusa en 1595 : un grand in-4° de 908 pages, aujourd'hui une rareté bibliographique d'un prix inestimable.

L'*Arte da lingoa de Japam*, composée par le P. Joâo Rodriguez, S. J., parut au collège de Nangasaki en 1604. Elle fera, sans doute, pardonner l'édition japonaise de la

(1) Jos. Dahlmann, S. J., *Die Sprachkunde und die Missionen*. Fribourg en Br., 1891.

(2) *Il primo sinologo, P. Matteo Ricci* (1882).

(3) Franc. Varo, O. P., *Arte de la lengua Mandarina... acrecentado y reducido a mejor forma por... N° H° fr. Pedro de la Pinuela... de la Mission Serafica de China*. Canton, 1703, petit in-fol. (Le catalogue 302 de la librairie Hiersemann, à Leipzig, en annonce un exemplaire au prix de 3000 francs.)

(4) Techmer's Internationale Zeitsch. für allgem. Sprachwissenschaft, t. I (1884), p. 272.

grammaire latine du P. Emm. Alvarez que les jésuites d'Amacusa avaient donnée en 1594 (1).

On doit au P. Michel Trigault, S. J., un lexique ou syllabaire chinois en trois volumes in-quarto, publié à Han-Tchéou, en 1626, qui semble avoir été le premier, ceux des PP. Ricci, S. J., Cobo, O. P., et de quelques autres pouvant être considérés comme des ébauches (2).

Au P. Basile de Glémona, O. S. F., le dictionnaire de cette même langue qui, jusqu'au début du XIXe siècle (3), fut réputé le meilleur, entre beaucoup d'autres essais de même genre, tous dus à des missionnaires.

Au P. Al. de Rhodes, S. J., le premier dictionnaire et la première grammaire annamites (4).

Au P. Gerbillon, S. J., la première grammaire mandchoue imprimée, puisque celle de l'illustre sinologue et mathématicien Ferd. Verbiest, S. J., est demeurée inédite (5).

Au P. Jos.-Mar. Amyot, le premier dictionnaire mandchou, édité après la mort de l'auteur par L. Langlès (trois volumes in-4°, Paris, 1789-1790).

A Mgr Percotto, des Missions étrangères (XVIIIe siècle), le premier dictionnaire birman, aujourd'hui perdu.

Au P. Dominique Fanno, O. M. C., la première esquisse de grammaire ou de syllabaire thibétain (6), qu'il apporta manuscrite à Rome en 1714, et qui resta, semble-t-il, un essai unique, jusqu'à l'apparition de l'*Alphabetum Thibe-*

(1) Voyez Ern. Mason Satow, *The Jesuit Mission Press in Japan (1591-1610)*, 1888, pp. 27, 45, 26.

(2) Voir pourtant Nocentini, *ouvr. cité*, pp. 43 et 44.

(3) Réédition moderne : *Han iâm çu tien. Dictionarium Sinico-latinum meliore ordine digestum... Cura ac diligentia* Fr. Hieron. Mangieri a S. Arsenio, O. M. Ref. Hongkong, 1853, in-4°, XVIII-1030 pages.

(4) *Dictionarium Annamiticum Lusitanum*. Rome (Impr. de la Propagande), 1651, in-4°, 4 ff. 900 col. — *Linguae Annamiticae seu Tunchinensis brevis declaratio*. Rome, 1651, in-4°.

(5) *Elementa linguae Tartoricae* (dans *Relation de divers voyages curieux* de Thévenot, t. IV. Paris, 1696).

(6) Catalogue de la librairie Guilmoto (Maisonneuve) à Paris, n° 3347.

tanum du P. Aug. Georgi, Erem. S. Aug. (Rome, 1762, in-4°).

Au P. Estevâo (Th. Stephens, S. J.), la première grammaire concanie, œuvre posthume, bientôt surpassée par celle du carme F.-X. de Sainte-Anne, mais qui pourtant était encore rééditée à Nova Goa en 1857 par Ersk. Perry (in-8°, 280 pages).

Au P. Diego Ribeira, l'éditeur de Stephens, le premier dictionnaire concani, qui ouvrit la voie aux travaux lexicographiques des PP. Manuel Banha, O. S. F., Saldanha, Pereira et d'Almeida, S. J.

Au P. Ch. Przikril, S. J., la première grammaire et le premier dictionnaire kanaras, qu'il écrivit au fort Saint-Julien, où il fut emprisonné par ordre de Pombal.

Au P. Henriquez, S. J., le premier lexique et la première grammaire tamouls : deux ouvrages restés inédits, qui cédèrent aussitôt la place à ceux des PP. Proença, Cataneo, Pereira, Faraz, d'Acosta, de Bourzes, de la Lane, et d'autres qui seraient encore mentionnés avec honneur, si le maître inégalé des études tamoules, l'illustre P. Constantin Beschi, ne les avait tous éclipsés (1).

Nous avons déjà nommé le P. Paulin de Saint-Barthélemy, qui, s'aidant des manuscrits du P. Roth (2) et du P. Hanxleden, S. J., publia, à l'imprimerie de la Propagande (en 1790), son *Sidharubam seu grammatica samscrdamica*, premier essai européen de grammaire

(1) Lire les éloges enthousiastes décernés à Beschi par Cadwell, Benfey, Pope et autres, dans Dahlmann, *l. c.*, pp. 13-15. Signalons le jugement plus « moderne » de J. Vinson, qui dit pourtant : « Ses ouvrages d'enseignement, supérieurs à tous ceux qui ont été faits jusqu'à ces dernières années, resteront et lui conserveront une réputation honorable » (*Notice sur quelques missionnaires jésuites qui ont écrit en tamoul et sur le tamoul à la fin du dernier siècle*, dans REV. DE LINGUISTIQUE ET DE PHILOLOGIE COMPARÉE, t. XXXII, 1899, p. 123).

(2) Le P. Henri Roth, S. J. est proprement le premier grammairien occidental de la langue sanscrite, son travail manuscrit existait encore au Collège romain, du temps d'Hervas (voycz Th. Zachariä, WIENER ZEITSCHRIFT FÜR DIE KUNDE DES MORGENLANDES. T. XV, Vienne, 1901, pp. 313-320).

sanscrite, qu'au jugement de Max Müller les indianistes de la deuxième heure eurent mauvaise grâce de décrier après avoir tant profité de ses tâtonnements (1).

Tenons-nous-en à cette très sommaire énumération, où nous n'avons à dessein relevé que les initiateurs. Ces quelques exemples doivent avoir rendu clair pour tout esprit non prévenu que le latin n'avait point tant rétréci les idées de ces missionnaires carmes, franciscains, dominicains et jésuites, à l'endroit des langues et des littératures indigènes. Leurs principes et leur méthode se sont mieux affirmés encore dans les innombrables ouvrages qu'ils ont composés spécialement à l'usage de leurs néophytes. En serions-nous encore à devoir rappeler les livres traduits ou rédigés en tamoul-sanscrit ou même en sanscrit classique, par les PP. de Nobili, Calmette, Hanxleden et autres? Parmi les populations de la côte goanaise, pour qui les jésuites portugais créèrent, à force d'ingéniosité, la première imprimerie tamoule, on vit s'épanouir toute une littérature chrétienne qui débuta, dès 1580, par la traduction du *Flos Sanctorum*. Une magnifique émulation se mit parmi les missionnaires. Tous n'atteignirent point la géniale maëstria de Beschi, que les lettrés natifs eux-mêmes regardèrent comme le premier poète de son siècle et dont les chrétiens du Malabar, qui récitent encore ses vers, ont fait dans leurs légendes un polyglotte surhumain (2). Mais à côté de ces talents exceptionnels, que d'autres modestes savants s'acquirent un mérite non moins solide par des travaux qui sont demeurés inconnus ou n'ont été tirés de l'oubli qu'en ces derniers temps : tel ce Père G. Pacheco, prêtre de l'Oratoire et missionnaire parmi les Syriens de Ceylan, dont l'histoire ecclésiastique en cinq volumes fut éditée, en 1882-1888, à l'imprimerie du couvent Saint-Joseph, à Mannanam, par le prieur des

(1) *Vorlesungen über die Wissenschaft der Sprache*, Ire sér. Trad. Böttger. Leipzig, 1863, p. 129.

(2) Cfr. Vinson, *l. c.*, pp. 126 et suiv.

Carmes du Malabar. Grâce aux missionnaires jésuites et surtout franciscains, les idiomes kanara et concani furent aussi dotés d'une littérature chrétienne presque aussi abondante (1).

J'ose à peine rappeler l'exemple de la Chine, tant le sujet se prête mal à un résumé rapide. Des premiers écrits de Matteo Ricci à ceux de J.-M. Amyot, qui vit la ruine des chrétientés de l'Extrême-Orient, on formerait une gigantesque encyclopédie de textes chinois avec les livres religieux, philosophiques, littéraires et scientifiques, auxquels une lignée ininterrompue de travailleurs d'élite usèrent les derniers restes de leur temps et de leur vie dévorée par tant de labeurs et tant d'épreuves. Des rééditions toutes récentes ont fait connaître au moins une partie de l'œuvre des PP. Aleni, de Mailla, Lobelli, et autres (2). Je ne parle pas de ceux qu'il est moins permis d'ignorer. Le plus inexpérimenté des profanes qui croient devoir ou pouvoir toucher à ces questions aurait tôt fait de trouver, dans l'histoire des sciences, des pages qui lui apprendraient à respecter les noms des PP. Ricci, Bouvet, Gerbillon, de nos compatriotes les PP. Verbiest et Couplet, du P. Franc. Diaz, O. P., des PP. Schall, Rho, de la Charme, Noël, Régis, Hervieu, Prémare, Gaubil, Parrenin, Amyot et de combien d'autres! On ne songe pas sans tristesse que l'indiscutable mérite de tant d'hommes éminents, la plupart moins grands encore par le talent que par la vertu et les malheurs, n'a pas empêché l'envie ou la légèreté de dénigrer leur mémoire.

Telle fut la conduite généreuse et bienfaisante de l'apostolat catholique envers les langues littéraires de l'Asie. L'Église ne démentit point, dans les pays incultes, son

(1) Cfr. Dahlmann, *l. c.*, pp. 15 et suiv.

(2) Pour le seul P. de Mailla, nous trouvons mentionnés : un *Évangéliaire pour tous les dimanches de l'année* (réédité en 1859 à Tou-Sai-Wai, 2 vol. in-12); quatre volumes de vies de saints (rééd. *ibid.* en 1876); un *Cours de religion* (rééd. *ibid.* en 1893, 4 vol. in-8°); etc., etc.

esprit, ni sa méthode. Il devient ici plus difficile que jamais d'en fournir la preuve complète sur faits et articles. Le lecteur qui demanderait à passer en revue les anciennes missions des différentes parties du monde, nous fausserait lui-même compagnie dès le début de ce périple. Du reste, il saurait vite à quoi s'en tenir sur le danger dont le latin clérical aurait menacé les littératures barbares présentes et à venir. Pour donner un sens vrai à cette formule, il faudrait en retourner les termes et dire : Là où, dans les temps modernes, nous voyons une langue, jusqu'alors informe et brute, donner un premier signe d'organisation, les missionnaires catholiques seuls presque toujours en ont l'honneur. « Des apôtres chrétiens, déclare G. von der Gabelentz (1), d'abord catholiques pour la plupart, pénétrèrent dans les terres nouvellement découvertes, en apprirent les langues, les écrivirent et en écrivirent : tel de leurs livres a été de nos jours acheté plus que deux fois son pesant d'or (2). » Tout ce que l'on sait et tout ce que l'on saura jamais des anciennes langues de la côte africaine occidentale provient de quelques modestes opuscules, comme la grammaire congolaise du frère mineur Brusciotto, parue à Rome en 1659, ou le catéchisme rédigé en dialecte d'Angola, par le P. Antoine de Coucto, S. J. (3).

(1) *Die Sprachwissenschaft, ihre Aufgaben, Methoden und bisherigen Ergebnisse*, 2e éd. par Alb. von der Schulenburg, Leipzig, 1901, p. 25. Mais où l'auteur a-t-il pris que la « Curie » romaine aurait finalement interdit aux missionnaires l'étude de la grammaire comparée ?

(2) Cette estimation hyperbolique en apparence est, en réalité, beaucoup trop modérée. La librairie Quaritch, à Londres, a mis en vente au prix de 5000 fr. un manuscrit autographe des sermons en nahuatl de fray Bernardino de Sahagun, O. S. F. : soit un cahier in-folio de 98 feuillets (Catalogue 188, n° 1695). Les lecteurs de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES qui voudraient avoir une idée des travaux de ce vraiment grand homme peuvent consulter l'article du P. Gerste, *La langue des Chichimèques*, t. XXX (1891), pp. 80 et suiv., où quelques détails sont donnés incidemment, et mieux encore, l'étude de M. de Charancey, *L'historien Sahagun et les migrations mexicaines* (suite d'articles parus dans le MUSEON au cours des années 1896-1899).

(3) Ant. de Coucto, S. J., *Gentilis Angoliæ fidei mysteriis... instructus*. Édition latine-angolaise-portugaise, par Ant. Mar. Prandomontanus,

Il en est de même pour toutes les contrées où des missions catholiques purent s'établir et très spécialement pour les îles Philippines (1) et l'Amérique (2).

Le tableau détaillé des services rendus aux langues de ce pays par les missionnaires romains peut se résumer dans un fait, au sujet duquel je suis malheureusement forcé de recourir à des données déjà vieilles d'environ cinquante ans. Dans un livre intitulé *The literature of American aboriginal languages*, Herm. E. Ludewig et William W. Turner ont, en 1858, recueilli les noms de tous les auteurs qu'on savait avoir écrit soit en langue indigène, soit sur les langues indigènes. Pour la période antérieure au XIXe siècle, nous y avons relevé en chiffres ronds (3), 300 auteurs de quelque conséquence, en comptant pour rien ceux à qui l'on ne doit, par exemple, qu'une nomenclature d'une ou deux pages. Sur ce nombre, 220 environ appartiennent certainement au clergé ou aux missions catholiques, et il est assez probable que, de la fraction restante, elles pourraient aussi revendiquer nombre de manuscrits anonymes et d'autres ouvrages dont les auteurs sont trop sommairement indiqués. Pour leur faire la part plus belle encore, il suffirait de clôturer la statistique quelques dizaines d'années plus tôt, et d'en exclure certaines contrées comme le Grönland, où l'apostolat catholique ne parvint pas à s'implanter.

Depuis lors, ont paru toute une série de travaux biblio-

O. M. C. Rome 1661, in-8°, 118 pages. — Le P. Pedro Diaz, S. J., a aussi composé une *Arte da lingua de Angola*, ms. sur parch., in-8°, 1697 (Maisonneuve, n° 2785). — Brusciotto, *Grammar of the Congo language as spoken two hundred years ago*. Translated from the Latin of Brusciotto. Edited with a preface by H.-G. Guinness. Londres, 1882, grand in-8°, XII-112 pp. Edition portugaise par l'évêque d'Angola en 1886.

(1) Voyez J. T. Medina, *La imprenta en Manila desde sus origenes hasta 1810*. Santiago de Chile, 1896.

(2) Le premier dictionnaire malgache un peu étendu est le dictionnaire dit de Flacourt, par le lazariste Bourdaise (Paris, 1658, in-8°, 176 pp.).

(3) Et avec le degré d'exactitude que comportait ce récolement, en l'absence d'une table des noms d'auteurs.

graphiques généraux ou spéciaux, comme les catalogues de Trübner, les recueils de J. C. Pilling, de l'abbé Brasseur de Bourbourg, de J.-T. Medina, de Beristain y Souza, de Leclerc, de Joaq. Garc. Icazbalceta, d'Alf. do Valle Cabral, de Squier, du comte de la Viñaza, etc., etc. Les nouvelles données fournies par ces répertoires n'ont modifié le jugement déjà établi que pour rehausser davantage les services rendus par les pionniers de l'Évangile qui ont été en même temps les premiers et les derniers explorateurs de la linguistique dans un monde finissant. Bornons-nous à un seul exemple. La *Bibliografía española de lenguas indígenas de América* de M. de la Viñaza (Madrid, 1892) signale, pour le XVIe et le XVIIe siècle, 543 ouvrages (n°s 1-244, 695-993) en y comprenant un certain nombre de livres disparus, dont l'existence est attestée historiquement (1). Sur ce total, onze écrits sont attribués à des auteurs qui semblent étrangers au clergé catholique (2). Ajoutons-y un recueil de chants indigènes qui peut avoir une origine profane (3). Onze grammaires ou vocabulaires sont anonymes (4), mais si, dans l'espèce, la présomption doit se régler sur le cas le plus ordinaire, plusieurs de ces manuels, au bas mot, sont de provenance ecclésiastique. Tout le reste, soit 520 ouvrages, sont la propriété exclusive de nos missionnaires.

Sans doute il n'y a rien à conclure de ces chiffres au delà de ce qu'ils disent : l'apostolat catholique dans toute la durée de son histoire n'a connu qu'une seule Amérique latine. Mais puisqu'on l'interroge sur son esprit et ses tendances, il est en droit de montrer les œuvres qu'il produisit sur sa terre de prédilection. Pour toute la période primitive, la bibliographie des langues de l'Amé-

(1) Nous avons dû omettre les ouvrages non datés qui sont consignés en appendice, n°s 1101-1188. La proportion d'ailleurs n'en serait pas affectée.

(2) N°s 130, 145, 162, 199, 211 (= 225), 222 (= 234), 230, 716, 858.

(3) N° 842.

(4) N°s 91, 94, 159, 180, 188, 236, 695, 699, 840, 841, 844.

rique centrale est, dans son ensemble, un monument élevé à la gloire des missions catholiques, monument où se lit, à la place d'honneur, le nom des ordres de saint François et de saint Dominique.

La philologie moderne a fait mieux encore. Une pléiade de généreux érudits, entre lesquels il faut citer au tout premier rang J. Platzmann, se sont mis à exhumer au moins les plus précieux de ces ouvrages rarissimes. Ils ont publié ou réédité avec une somptueuse magnificence (1), non seulement les grammaires, lexiques, vocabulaires ou autres travaux didactiques des anciens missionnaires, mais leurs catéchismes, leurs recueils de cantiques, leurs livres de prières, leurs sermonnaires, leurs recueils d'instructions religieuses, leurs versions de la Bible, et jusqu'à des traités ascétiques. Ironie des choses et justes représailles de la vérité : il se trouve que tel de ces idiomes du Mexique, du Marañon, du Pérou, du Brésil ou du Paraguay, auxquels le latin liturgique aurait apporté la servitude et la déchéance, regarde aujourd'hui comme son principal chef-d'œuvre, sinon comme son unique et dernier monument, les écrits d'un moine espagnol (2).

(1) Il serait injuste d'oublier ici la mention qui est due au Mécène des études américanistes, M. le duc de Loubat.

(2) Voici, prises au hasard et uniquement à titre de spécimen, quelques-unes de ces rééditions : Pedr. la Cueva, O. P., *Diccionario Yuracare*, éd. Luc. Adam (ms. Alcide d'Orbigny). Paris, 1893, in-8°, 122 pp. — P. Raymond Breton, O. P., *Gramm. Caraïbe*, rééd. par L. Adam et Ch. Leclerc. Paris, 1878, in-8°, XXXII-80 pp. — Anonyme, S. J., *Dict. franç.-onontagué*, éd. d'après un ms. du XVIIe s., par J.-M. Shea. Londres, 1860, gr. in-8°, VIII-103 pp. — Jac. Bruyas, S. J., *Radices verborum iroquaeorum*, éd. J.-M. Shea. New-York, 1862, gr. in-8°, IV-123 pp — Gabr. Sagard Théodat, récollet, *Dict. de la langue huronne* (1623), rééd. en 1865. — Franc. Pareja, O. S. F., *Arte de la leng. Timuquana*, éd. L. Adam et J. Vinson. Paris, 1886, in-8°, XXXI-132 pp. — L. Figueira, S. J., *Arte de grammat. da lengua Brasilica* (d'après Jos. Anchieta, S. J.). Lisbonne, 1621, 1681, 1687, 1715. Bahia, 1851. Leipzig, 1878 (par J. Platzmann). Rio-de-Janeiro, 1880. — Dieg. Basalenque, O. S. A., *Arte de la lengua Tarasca*, éd Nicolas de Quichas. Mexico, 1714. Rééd. *ibid.* en 1886, in-4°, XXXII-86-XVII pp. — F. Fel. Arroyo de la Cuesta, *Vocabular of the Mutsun language* (*Mutsun-Spanish*) *of alta California*. New-York, 1862, in-4°, 96 pp. — Anonyme, S. J., *Luces del Otomi ó*

Voilà pour le passé; mais que voyons-nous aujourd'hui? Le petit index bibliographique qu'on trouvera ci-après, tout rudimentaire qu'il soit, répondra à cette question. Il prouvera que les missionnaires catholiques sont restés fidèles aux traditions de leurs devanciers. Partout où l'urgence et l'immensité du travail, sinon les persécutions et la misère, ne leur en ont pas ôté le loisir, ils ont trouvé moyen de servir la littérature indigène tout en faisant œuvre d'apôtres. Au prix des plus extrêmes sacrifices, ils ont installé une imprimerie au centre de chaque mission ou peu s'en faut. La Chine seule en possède quatre pour le moins : celle des Missions étrangères à Hongkong,

gramática..., éd. par F. Baelna, Mexico, 1893, IX-303 pp. — B. de Sahagun, O. S. F, *Evangetiarium, Epistolarium et Lectionarium Aztecum sive Mexicanum*, éd. Bern. Biondelli, Milan, 1858, in-4°, XLIX-374 pp. — *Arte de la lengua Névome que se dice Pima, propia de la Sonora ; con la doctrina christiana y confesionario añadidos* [Édité par B. Smith]. New-York, 1862, gr. in-4°, 97 et 32 pp. — Fr. Juan de Córdova, O. P., *Arte del idioma Zapoteco*, reimpreso por N. Léon. Morelia, 1886, in-8°, 4-LXXIX-224 pp. — E. del Castillo i Orosco, *Vocabulario páez-casteltano, catecismo, nociones gramaticates i dos platicas con adiciones i un vocabulario Castettano-páez*, por E. Uricoechea. Paris, 1877, in-4°, XXIX-123 pp. (Bibliothèque linguistique Américaine, II). — Andr. de Olmoz, O. S. F., *Ars et vocabutar. Mexicanum*. Mexico, 1555. La gramm. a été rééditée par R. Siméon. Paris, 1875, in-8°, XV-274. pp. — Ant. Magio, S. J, *Arte de ta tengua de los Indios Baures de ta provincia de los Moxos*, édité d'après l'autographe de l'auteur, par L. Adam et C. Leclerc. Paris, 1880, in-4°, III-118 pp. — G. de los Reyes, O. P., *Gramát. de las leng. Zapoteca-Serrana y Zap. del Valle*, rééd. par Fr. Belmar, Oaxaca, 1891, in-8°, 100 pp. — Dieg. Gonz. Holguin, S. J., *Gram. de la lengua... del Inca*. Rééd. à Lima, 1842, in-4°, XIV-15-320 pp. — Ant. Machoni de Cerdena, S. J., *Arte y vocab. de la leng. Lule y Tonocoté*, rééd. Buenos-Aires, 1877, in-8°, 259 pp. — A. del Rincon, S. J., *Arte gramatica* (Nahuatl), rééd. à Mexico, 1885. — Pablo Restivo, S. J., *Linguae Guarani gramm. hispan.*, rééd. par Chr.-Fr. Seybold. Stuttgart, 1892, in-8°, 330 pp — Pablo Restivo, S. J., et Ruiz de Montoja, S. J., *Lex. hispano-guaranicum* (1722), rééd. par le même. Ibid. 1893, in-8°, X-545 pp.— A. Ruiz de Montoja, S. J., *Gramat. y diccion. de la leng. tupi o guarani*, rééd. à Vienne, 1876, 2 vol. in-8°. — Aug. de Quintana, O. P., *Confesionario en leng. Mixe*, rééd. par le comte de Charencey. Alençon, 1890. — *Arte de la Lengua Quiché o Utlateca, compuesto por N. M. R. P. Fray Bartolomé Anleo, Retigioso Menor de N. S. P. San Francisco*. Éd. par E. G. Squier. Londres, 1865. — *Poesias del Venerable Pe José de Anchieta escritas en lingua Tupy*. Édité par le Dr Don José Franklin Massena y Silva. Rome, 1863, in-8°, 2 + 18 ff.

celle des lazaristes à Pékin, celles des jésuites à Kiang-Nan et à Ho-Kien-Fou. Il en existe au Congo, au Zanguebar, et jusque dans les îles de l'Océanie comme à Lévouka (Ovalou, îles Fidji) ou à Maofanga (dans l'archipel Tonga).

En cela encore, nos missionnaires renouvellent un ancien exemple. Le premier livre imprimé au nouveau monde fut la *Doctrina Christiana en lengua mexicana y castellana* publiée en 1539 par ordre de fray Juan de Zumárraga, archevêque de Mexico (1). Cette ville fut seule en Amérique à connaître l'art de l'imprimerie jusqu'au jour où, sur l'invitation des Pères du Concile de Lima et surtout de l'archevêque saint Torribio, le Turinois Antonio Ricciardi vint s'établir au Pérou. Il inaugura son atelier par la publication d'un catéchisme en deux dialectes locaux : « *Doctrina Christiana en Quichua y Aymara* »... Año de 1584 (2).

Ce fut aussi par deux catéchismes, l'un espagnol-tagal l'autre chinois, que Juan de Vera, l'introducteur de l'imprimerie aux Philippines, débuta vers 1593. Le brave homme ne disposait encore que des procédés xylographiques employés de temps immémorial dans la Chine, sa patrie. Pourtant dès 1588, grâce à un jésuite de Macao, le P. Alexandre Valignano, la typographie était revenue à son pays d'origine avec ses perfectionnements européens (3). Nous avons mentionné plus haut (p. 588) les imprimeries d'Amacusa et de Nangasaki, auxquelles le Japon doit ses premiers incunables tirés sur types mobiles, et celle de la côte goanaise, création plus originale encore (p. 590). On voit par ces quelques exemples que les humbles presses de nos missions poursuivent une œuvre commencée depuis longtemps.

Il est juste d'ajouter qu'aujourd'hui les catholiques ne

(1) Medina, *La imprenta en Manila*, p. XXIII.
(2) Medina, *l. c.*, pp. XV-XXI.
(3) Ch. Leclerc, *Bibliotheca Americana*. Paris, 1878, p. 626.

sont plus seuls à la tâche. Les protestants des différentes confessions ont apporté une très importante contribution au développement des idiomes aborigènes. Qu'elle leur ait été facilitée par les ressources dont ils disposent, par les loisirs que leur laisse le ministère évangélique comme ils ils le comprennent, par le concours plus efficace qu'ils trouvent dans les colonies ou pays de protectorat protestants, cela n'est, je pense, pas contesté. Le fractionnement indéfini des différentes sectes réformées qui rejettent mutuellement leurs doctrines et leurs livres, devait aussi, à sa manière, activer la production de leur littérature religieuse. Un catéchisme, une histoire sainte ou une édition de l'évangile suffisent à toutes les missions catholiques d'une même contrée, sinon d'une même langue : il en faut une bibliothèque pour la multitude des petites églises protestantes qui se font concurrence sur le même espace.

Mais, si sérieuses que soient les considérations de cet ordre, espérons que personne dans nos rangs n'en prendra prétexte pour déprécier, au profit de nos missionnaires, le travail fourni par leurs rivaux. On a dit, en réponse à M. Fredericq, que, comme bienfaitrices des langues indigènes, les Missions catholiques gardent encore une supériorité marquée. Ceux qui l'affirment sont sans doute en mesure de le prouver. A parler franchement, nous avouons ne pas bien voir sur quelles données se baserait une estimation globale. Des jugements aussi complexes ne s'établissent pas sur un simple inventaire, qui d'ailleurs est encore à dresser. Et pour avoir le droit d'en rien conclure il faudrait savoir à tout le moins quel chiffre représente le personnel de nos missions par rapport à l'effectif des prédicants de toutes les confessions réformées, prises ensemble. Le plus qu'on puisse dire à coup sûr, c'est que les missionnaires protestants, pas plus que les nôtres, n'ont montré partout la même activité scientifique. Mais, puisqu'on nous les cite comme modèles, il n'est que juste

de constater que certains de leurs coreligionnaires, et des mieux qualifiés, ont parfois renversé les rôles en des termes d'une précision cruelle. Il n'y a pas bien longtemps, à propos des différentes variétés d'écriture syriaque, un des plus grands orientalistes du dernier siècle, Paul de Lagarde, faisait, à la face du monde savant et dans l'organe officiel de l'Académie de Göttingen, la déclaration suivante :

« Je crois plus volontiers au succès des missionnaires jésuites qu'à celui des protestants américains : voilà pourquoi je ne crois pas à la victoire du type nestorien (adopté à l'imprimerie d'Urmiah), mais à celle du type maronite (usité à l'imprimerie Saint-Joseph). Si le projet de créer une Université catholique à Séert a été exécuté, je l'ignore ; celle de Beyrouth existe (1). »

Ce certificat aussi formel que peu louangeur était décerné à la Société américaine des Missions d'Urmiah en 1888. Depuis lors, malgré d'utiles et honorables publications, elle a été surpassée dans sa propre sphère d'influence par l'imprimerie dominicaine de Mossoul, à qui l'on doit notamment une version arabe des Écritures, une édition du bréviaire chaldéen, le vocabulaire chaldéen-arabe de l'abbé Manna et le monumental dictionnaire de la langue chaldéenne de Mgr Audo (2 vol., 1897, in-fol., 492 et 638 pages).

Quant à l'Université Saint-Joseph, elle soutient depuis 1869 la rivalité d'une autre institution protestante, américaine également, dont les vastes établissements couvrent le quartier de Ras-Beyrouth, et, avec des ressources très inférieures, elle a victorieusement maintenu et poursuivi son avantage. Les livres sortis de son imprimerie, la première de tout le Levant pour la perfection

(1) Nachrichten von der Königl. Gesellsch. der Wissenschaften zu Göttingen, 1888, p. 379.

du travail, se chiffrent par centaines d'éditions. Outre un journal arabe hebdomadaire, la Mission publie, depuis 1898, une intéressante revue bimensuelle, que les lettrés du pays lisent avec béatitude et qui résout, mieux que beaucoup d'autres, la difficulté d'assouplir le pur arabe du cru à l'expression des idées modernes. Enfin, depuis trois ans, un cours complet de hautes études orientales a été annexé à l'Université. Ici, du moins, le parallèle entre catholiques et protestants, puisqu'on nous a provoqués à l'établir, conclut sans contestation possible à l'avantage des premiers. « En fait d'activité littéraire, le groupe protestant (de Syrie) reste loin en arrière du groupe romano-français. » Tel est, en sa teneur germanico-péremptoire, le jugement rendu l'année dernière par M. le Dr Mart. Hartmann, professeur d'arabe à l'Université de Berlin (1).

Un cas isolé prouve peu de chose par lui-même. Nous n'examinerons point si l'on ne trouverait pas à celui-ci quelques témoignages confirmatifs à Hongkong ou ailleurs. En Corée du moins nous aurions encore la partie belle : sur 115 ouvrages chrétiens qu'on y avait publiés, en langue du pays, avant 1891, la *Bibliographie* de M. M. Courant (2) attribue aux catholiques, glorieusement représentés par la Société des Missions Étrangères, 107 livres et opuscules manuscrits ou imprimés (nos 2691-2795, 3239, 3240) ; les protestants (méthodistes américains) y entrent pour un total de 8 tracts, qui se montent ensemble un peu au delà de 216 feuillets (nos 2796-2803). Ces chiffres du reste ne donnent encore qu'une idée incomplète des titres littéraires du clergé catholique en Corée. Ils ne comprennent, en effet, ni les ouvrages des premiers mis-

(1) *Zur literarischen Bewegung und zum Buch- und Bibliothekswesen in den islamischen Ländern*, 1904 (en tête du Catalogue n° 3 de la librairie Haupt, à Halle s. S., p. VIII).

(2) *Bibliographie Coréenne*, t. III (Paris, 1897), pp. 282 et suiv., et p. 444.

sionnaires qui périrent avec leurs auteurs pendant la sauvage persécution de 1866 (1), ni les publications sur des sujets profanes, ni enfin les livres imprimés ou édités à l'étranger, soit à Hongkong soit à Yokohama. Parmi ces derniers, il faudrait compter le dictionnaire coréen (Yokohama, 1881) que W. Grube saluait comme une œuvre « von geradezu epochemachender Bedeutung » (2).

On accordera que voilà déjà deux faits qui ont bien quelque valeur probante. Mais, outre qu'il est aussi des exemples en sens contraire (3), M. Fredericq nous répondrait que la question n'est pas là. Le reproche capital qu'il adresse à nos missionnaires, c'est leur malencontreuse langue liturgique. Ils étudient les idiomes natifs, ils les pratiquent, les écrivent ; peut-être conviendra-t-il tout à l'heure qu'ils les enseignent. Mais latins ils sont, latins ils restent. Dans leur funeste langage de caste, ils gardent jalousement leur missel, leur bréviaire, leur rituel, leurs livres sacrés. Partant, la littérature indigène est, dès avant que d'éclore, ravalée à une condition subalterne. Dévoyée par ce vice d'origine, la culture nationale ne peut que préparer des sujets de lamentation aux patriotes de l'avenir. Mais les prédicants du pur Évangile, à la bonne heure ! Ils n'ont pas de missel, pas de rituel, pas de bréviaire, et surtout, à peine débarqués sur les plages les plus anthropophagiques, ils « s'empressent d'offrir »

(1) Mgr Daveluy, des Missions Étrangères, avait composé un dictionnaire chinois-coréen-français ; M. Pourthié, un dictionnaire coréen-chinois-latin ; M. Petitnicolas, un dictionnaire latin-coréen. Une grammaire coréenne était aussi achevée. Tous ces ouvrages furent brûlés au cours de la jacquerie qui amena le martyre de Mgr Daveluy et de ses compagnons. Voir MISSIONS CATHOLIQUES, 1881, pp. 95 et 96.

(2) Jugement rapporté par Pott, TECHMER'S ZEITSCHRIFT, t. II (1885), p. 78.

(3) Celui des missions chez les Indiens Peaux-Rouges en est un bien caractérisé. Au surplus, personne ne fera aux protestants des États-Unis un titre de gloire exceptionnel d'avoir cultivé les dialectes de leurs malheureux compatriotes sur une plus vaste échelle que ne l'a pu faire une petite poignée de missionnaires étrangers. D'autres raisons encore conseillent de ourner court sur ce sujet.

à leurs paroissiens une bible complète, translatée en patois du lieu, ou tout au moins un Nouveau Testament, qui deviendra la pierre angulaire de la première bibliothèque nationale. Si les missionnaires romains montraient cette largeur d'esprit, on leur pardonnerait même de propager parmi la population indigène leur propre langue maternelle — fût-elle connue pour de certaines propensions conquérantes, comme l'anglais (1). Le latin, voilà le pire, l'unique ennemi !

On trouvera que nous plaisantons ; franchement il y a un peu de quoi. Que les versions protestantes de la Bible soient plus efficaces comme manuels de littérature que comme moyen de conversion, c'est possible. Mais les éloges sans restriction que M. Fredericq donne à cet apostolat grammatical sortent de la note sérieuse. Ils forceraient à conclure que l'œuvre linguistique, indiscutablement importante (2), des Sociétés bibliques doit s'estimer surtout au poids du papier. Un jargon qui n'a encore exprimé que les préoccupations pratiques d'une vie quasi animale ne se laisse pas plier du jour au lendemain à traduire les pensées d'Isaïe ou de saint Paul, ni même le sublime récit de l'Évangile ; ou bien il s'en venge, par mainte trahison, sur le *scholar* de Londres, ou sur le naturel plus ou moins

(1) Le cas faillit se présenter au Mexique aux VIIIe siècle. Le gouvernement espagnol, appuyé par l'archevêque de Mexico, songea un instant à éteindre les dialectes indiens. Mais il fut forcé de désarmer devant la vigoureuse campagne menée par le franciscain Antonio Figueroa (Dahlmann, p. 98).

(2) Il sera cependant permis de constater que certaines au moins des traductions publiées par les Sociétés bibliques se bornent à reproduire d'anciennes versions catholiques, quelquefois jusqu'à l'*Imprimatur* de l'Ordinaire, inclusivement. Ainsi l'évangile de saint Luc en langue maya, publié à Londres en 1865 (in-12°, 90 pp.), est copié sur le travail de fray Ioaquin Ruz O. S. F. (cfr. de la Viñaza, p. 214, n° 549).

D'autre part, il serait puéril et injuste de vouloir rabaisser le mérite de savants missionnaires protestants tels que le célèbre John Eliot qui dans la seconde moitié du XVIIe siècle publia en langue indienne (de la Nouvelle-Angleterre) une édition complète de la Bible. Mais ce n'est pas le dénigrer que de rappeler les travaux de ses devanciers catholiques qui avaient préparé la voie à sa gigantesque entreprise.

civilisé qui l'a contraint à cet exercice. Il faut la plus extrême inexpérience de ces matières, pour croire que les philologues indigènes respecteront beaucoup, un jour, ces prémices de leur littérature : et ce sera merveille s'ils y trouvent une seule page où ne s'étalent des non-sens, des contre-sens, des contre-bon-sens, plus un désaccord scandaleux des neuf ou dix parties du discours. On nous assure (1), par exemple, que la Bible sétchouana traduit le verset de saint Jean (2,3) *vinum non habent* par « ils n'ont plus de brandy ». Cela paraît n'être que bouffon, mais la logique nègre pourrait tirer de là des conclusions inattendues.

Les missionnaires catholiques font preuve de plus de sagesse en attendant, pour traduire la Bible, que leur pauvre troupeau soit en état d'y comprendre quelque chose, et qu'eux-mêmes se voient en mesure de lui donner une version décente de ce texte vénérable. Cette conduite prudente, où d'ailleurs le latin liturgique n'entre pour rien, est aussi mieux dans la tradition de ces vieilles églises orientales, dont M. Fredericq a si inconsidérément invoqué l'exemple. Aucune d'elles ne s'est tant pressée de publier une traduction des livres sacrés. L'Arménie notamment attendit la sienne pendant près de deux siècles. Ce fut à ce prix seulement qu'elle produisit, après beaucoup d'efforts, un chef-d'œuvre qui fonda sa littérature classique.

Il manquait cette dernière constatation pour que le système de M. Fredericq parût caduc en toutes ses parties. Mais la réflexion finale vaut qu'on l'entende :

« Peut-être lorsqu'une couple de siècles se sera écoulée pourra-t-on constater chez les tribus incultes rattachées sous nos yeux à l'Évangile, des phénomènes littéraires analogues à ceux que les méthodes de Rome et de Byzance ont amenés au moyen âge en Occident et en Orient. »

(1) J. Spillman, *Vom Cap zum Sambesi*. Aus den Tagebüchern des P. Terörde, S. J. Fribourg en Br., 1882, p. 45.

Un pronostic dont l'échéance est si judicieusement choisie ne laisse pas, à qui veut rester sérieux, le moyen d'y répondre par une prédiction contraire. Mais, pour avoir seulement songé à l'énoncer, M. Fredericq doit être bien habitué à penser que la culture moderne n'atteindra ces pauvres sauvages que par les soins de leurs missionnaires. Nous ne le lui avons pas fait dire. S'il veut rechercher où, comment et pourquoi il pourrait bien en être ainsi, il verra qu'il a décerné à l'apostolat catholique, en visant à autre chose, un glorieux éloge. Le souvenir de l'Europe défrichée et civilisée par les moines lui fait trouver tout naturel que cette histoire se recommence, en petit, au fond du continent noir ou dans les îles perdues de la Polynésie.

Nous souhaitons que l'éminent académicien daigne réfléchir sur la perspective qu'il nous a ouverte à son insu. Il ne la méditera pas longtemps sans se rendre compte que certaines choses lui apparaissent dans un jour trop fuyant. Et peut-être la nécessité où il se sentira de chercher d'autres raisons à son antipathie contre les Missions catholiques, l'avertira-t-elle que cette fois il s'est trop pressé de les attaquer.

APPENDICE
(1285-1905)

Les notes bibliographiques réunies ci-dessous ont pour but de prouver que les missionnaires contemporains ne sont ni hostiles ni indifférents aux langues indigènes : rien de plus. A cet effet, et par crainte d'être démesurément long, nous nous sommes borné aux ouvrages didactiques qui attestent directement l'intérêt porté par les missionnaires à l'idiome de leurs néophytes. Le lecteur est prié de se tenir pour averti que ces listes improvisées sont d'avance convaincues d'être incorrectes et très incomplètes : incorrectes de par un droit constitutionnel de la bibliographie polyglotte ; incomplètes pour raison de force majeure. L'auteur regarderait même comme un soin assez naïf de représenter combien sa compétence et ses moyens sont trop courts pour un sujet aussi hétérogène, qu'un corps de spécialistes bien assorti et bien armé n'épuiserait qu'à la longue. Les livres imprimés sur place dans les Missions échappent d'ordinaire aux meilleurs répertoires européens. En outre, les catalogues savants et autres

s'abstiennent à leur guise d'indiquer la titulature ecclésiastique des auteurs. Il nous est arrivé plus d'une fois de prendre, à première vue, pour un explorateur ou pour un prédicant, tel Père mariste ou capucin très authentique. Un bon nombre de travaux à revendiquer pour les Missions, notamment ceux en langue allemande, doivent avoir passé inaperçus par suite de cette laïcisation bibliographique.

Principales abréviations : Missionn. = missionnaire ; — Lang. = langue ; — Dial. = dialecte ; — Dictionn. = dictionnaire ; — Gramm. = grammaire ; — Lex. = lexique.

AMÉRIQUE

Francis Barnum, S.J. — « Grammatical Fundamentals of the Innuit language, as spoken by the Eskimo of the Western Coast of Alaska. » Washington et Londres, 1901, in-8°, 384 p. (1).

Grégoire Mengarini, S. J. — « Grammatica linguae Selicae. » New York, 1861, in-8°, VIII-122. [= Shea's LIBRARY OF AMERICAN LINGUISTICS, II, A Selish or flat-head grammar.] — **Id.** « Vocabulary of the Santa Clara » dans « INDIANOLOGY OF CALIFORNIA » de Taylor, t. III, San Francisco, 1860. — **Id.** « Vocabulary of the Skoyelpi, Schitsuï and Selish proper » dans CONTRIBUTIONS TO NORTH AMERICA ETHNOLOGY de J.-W. Powell, t. I, Washington, 1877, p. 248-265, 267-283.

J.-A Cuoq, de S.-Sulp. — « Lex. de la lang. algonquine. » Montréal, 1886, in-8°, XII-448 p. — **Id.** « Lex. de la lang. iroquoise avec notes et appendices. » Montréal, 1882, IX-238 p. — **Id.** « Gramm. algonquine » (au t. IX des MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ ROYALE DE CANADA, Montréal, 1892).

N. O., ancien missionn. (**J.-A. Cuoq**). — « Études philologiq. sur quelques lang. sauvages de l'Amérique. » Montréal, 1866, trois parties dont la troisième est un vocab. algonquin et iroquois.

Mgr Fred. Baraga — « A theoretical and practical Grammar of the Otchipwe language. » 2e éd., par un Missionnaire Oblat, Montréal, 1878, in-12, XI-422 p. [La 1re éd. avait paru à Détroit en 1850, in-16, 576 p.] — **Id.** « A Dictionary of the Otchipwe language, explained in English. Part I, English-Otchipwe. » 2e éd., par un Missionnaire Oblat. Ibid. 1878, in-12, 3+301 p. — **Id.** « A Dictionary. Part II. Otchipwe-English » 2e éd., par un Missionnaire Oblat. Montréal, 1880, in-12 VIII-422 p. [La première édition de ces deux ouvrages avait paru à Cincinnati, en 1853, in-16, VII-662 p.]

[G. A. Belcourt.] — « Principes de la langue des sauvages appelés Sauteux. » Québec, 1839, in-16, VI-146 p.

M. Demers, F. N. Blanchet & L. N. St. Onge — « Chinook Dictionary, Catechism, » etc... Montréal, 1871, in-16, 68 p.

J. Marcoux. — « Grammaire iroquoise. » Saut-Saint-Louis, 1828, ms. in-folio oblong (1). — **Id.** « Dictionnaire iroquois-français et français-iro-

(1) Un missionnaire belge, M. l'abbé Aug. Brabant, a compose une grammaire et un dictionnaire de la langue de Vancouver. Ces deux ouvrages, encore inedits, sont les premiers qui existent sur ce dialecte.

(1) « This is the most perfect Indian grammar I have seen and has been the fountain from which several later writers on this language hare drawn.» James C. Pilling, *Bibliography of the languages of the North American Indians* (1883), p. 478.

qnois. » 1844, 2 vol. in-fol. ms. 820, 590 p. (1).

É. Petitot, O. M. I. — « Dictionn. de la lang. des Déné-Dindjié (dial. montagnais ou chippewayan...) avec une gramm. et des tableaux synoptiques des conjugaisons ». Paris, 1876, in-4°, LXXXVIII-367 p. à 4 col. — **Id.** « Vocab. franç.-esquimau (dial. des Tchiglit des bouches du Makenzie et de l'Anderson). » Paris, 1876, in-4°, 64+75 p.

P. Alb. Lacombe. — « Dictionn. et gramm. de la lang. des Cris [tribu des Algonquins]. » Montréal, 1874, gr. in-8°, xx-713+190 p.

[Jos. Giorda, S. J.] — « Diction. of the Kalispel of flat-head Indian language ». Montana, 1877-1889, in-8°, 644 p. — **Id.** « Appendix to the Kalispel Dictionary » Ibid., 1879, in-8°, 2+36 p. — **Id.** « Dictionary of the Kalispel etc .. Part II English-Kalispel. » Ibid. 1877-1879, in-8°, 456 p.

L. Legoff, O. M. I. — « Grammaire de la langue montagnaise ou chippeweyane.» Montreal, 1889, in-8°, 351 p.

Ch. Pandosy, O. M. I. — « Grammar and dictionary of the Yakama language. » Traduct. G. Gibbs et J.-G. Shea. New York, 1862, gr. in-8°, 59 p.

P. Goux, Missionn. Apostol. — « Essai de gramm. sur l'idiome usité dans les colonies franç. » [en tête de son catechisme en langue créole]. Paris, 1842, in-18, 72 p.

(1) « This dictionary, in the Mohawk dialect, is probably the most valuable contribution yet made to the Iroquois stock of dialects. » Pilling, *l. c.* Les travaux du P. Marcoux sur les langues indiennes avaient déjà été signalés par Chateaubriand dans son *Voyage en Amérique* (voir à la fin du Chapitre intitulé *Langues indiennes*, une note où il fait une allusion assez obscure à des ouvrages composés par les missionnaires).

Joaq. Yepes. — « Vocabulaire otomi » [à la suite de son catéchisme]. Mexico, 1826.

Franç. Peres — « Manualito otomitico » (*it.*). Mexico, 1834.

Mig. Tellechea, Missionn. Apost. — « Compendio gramatical para la intellegencia del idioma Tarahumar. » Mexico, 1826, in-8°, 9+162+IV p.

J. S. — « Vocabulario da ling. indigena (Tupi). » Para, 1853, in-12, XVI-66 p.

Luiz de la Cruz. — « Vocabulario de la lengua de los Peguenches. » Buenos-Ayres, 1835, in-fol.

Joaquin Ruz. — « Gramatica Yucateca, formada para la instruccion de los indigenas, sobre el compendio de D. Diego Narciso Herranz y Quiros. » Merida de Yucatan, 1844, in-8°, 119 p. — **Id.** « Cartilla ó Silabario de lengua Maya para la enseñanza de los niños indigenas. » Yucatan, 1845, in-8°, 16 p. — **Id.** « Analisis del Idioma Yucateco al Castellano. » Merida de Yucatan, 1851, in-8°, 51 p.

Antonio Hernandez i Calzada O. S. F. — « Diccionario Chileno-Hispano por el R. P. Andres Febres, S. J. Enriquecido de voces i mejorado... » Santiago, 1846, in-4°, IV-88 p.

Mgr Bern.-Aug. Thiel. « Apuntes lexicográficos de las lenguas y dialectos de los indios de Costa-Rica... » San José de Costa-Rica, 1882, in-8°, 1+177+1 p

Ag. de Rosa. — « Estudio de la filosofía y riqueza de la lengua mexicana. » Guadalaxara, 1889, in-4°, 115 p.

Ch.-Ét. Brasseur de Bourbourg, ancien administrateur ecclesiastique des Indiens de Rabinal (Guatemala). — « Grammaire de la langue Quichée espagnole-française mise en parallèle avec ses deux dialectes, Cakchiquel et Tzutuhil. » Paris, 1862, in-8°, XVII-246 p. — **Id.** « Dictionnaire, grammaire et chrestomathie de la langue

Maya, précédés d'une étude sur le système graphique des indigènes du Yucatan (Mexique). » Paris, 1872, in-fol. XLIX-464 p. (1).

Fr. Honoré Mossi, du Coll. de la Propag. — « Diccionario Quichua-Castellano y Castellano-Quichua. » Chuquisaca, 1860, in-4°, 148+113 p. — **Id.** « Gramatica del idioma .. llamado Quichua. » Ibid., 1857, in-4°, 72+54 p. — **Id.** « Gramát. razonada de la leng. Quichua... » Córdoba, 1889, gr. in-8°, 219 p.

Juan Grimm. sacerd. de la Mission. — « La lengua Quichua, Dialecto de la Republica del Ecuador. » Fribourg en Br., 1896, 1 vol. in 12.

OCÉANIE.

[**A. Colomb**, Congr. M]. — « Essai de gramm. de la lang. de Viti. » Paris, 1884, in-8°, 142 p.

A. Colomb, Congr. M.—« Dictionn. latin-ueva. » Paris, 1886, in-8°, IV-185 p. — **Id** « Vocab. puynipet-franç.-italien et franç.-puynipet-anglais. » Paris, 1881, in-8°, 45 p.

Pére F. P. — « Notes grammaticales sur la lang. de Lifou (Loyalty), d'après les manuscrits du Père F. P., missionn. mariste, par le P. A. Colomb. » Paris, 1882, in-8°, 72 p.

P. Grézel, Congr. M.—« Dictionn. foutounien avec notes grammaticales.» Paris, 1878, in-8°.

Mgr Tépano (Étienne) Jaussen, Congr. du S.-C. de Picpus. — «Gramm et dictionn. de la lang. maorie (dialecte tahitien)... » Paris, 1857, in-8°. — Nouvelle édit. Paris, 1898, in-12, 388 p. — **Id.** « L'île de Pâques, histoire, écriture et répertoire des signes des tablettes. » Rédigé par le Père Alazard (1).

Mgr Dordillon, Congr. de Picp. — « Gramm. et dictionn. de l'idiome des Marquises. »

L. Violette, Congr. Mar. — « Dictionn. samoa-franç.-angl. et franç.-samoa-angl., précédé d'une gramm. de la laug. samoa » Paris, 1880, XCII-468 p. (a obtenu un des prix Volney pour la linguistique).

Mgr Pompallier, Congr. Mar. — « Notes grammatic. sur la lang. maorie ou néo-zélandaise.» Lyon, 1849, in-8°, 40 p.

P. Chevron. — « La lang. de l'Archipel Toga », dans ANNALES DE L'EXTRÊME-ORIENT, 1887, p. 225-242, 321-334 et suiv.

ASIE

L.-Th. Furet, des Miss. Étr. — « Vocabul. de l'idiome de la baie de Joncquières — Aïno de Hakodate — de la tribu des Yak — de la baie de Broughton », dans *Lettres à Léon de Rosny sur l'Archipel Japonais*. 2e édition, Paris, 1860, in-18.

Mgr B. Petitjean, des Miss. Étr., vic. ap. du Japon. — « Lexicon latino-japonicum ». Rome, 1870, in-4°, 749 p [Réédition, corrigée et augm. du Dictionar. latino-lusitan. ac japonicum des Jésuites d'Amacusa, 1595. Voir ci-dess. p. 588.]

Eug. Mermet, des Miss. Étr. — « Dictionn. franç.-angl.-japonais ». T. I, fasc. 1. (seul paru). Paris, 1886, in-8°, 440 p.

Abbé Raguet. Dictionnaire français-japonais [paraîtra prochainement à Tokio].

(1) L'abbé Brasseur de Bourbourg est l'auteur de nombreux travaux de premier ordre sur l'histoire, l'archeologie et la bibliographie de l'Amerique centrale.

(1) Je n'ai pu retrouver la trace des études linguistiques attribuées à Mgr Maigret, de la Congr. du S. C. de Picpus, vicaire apostolique de l'Océanie orientale.

[**Anonyme**, des Miss. Étr.] — « Alphabet et syllabaire en lang. [coréenne] vulgaire. » Seoul, 1889, in-12, 17 ff. (1).

Mgr Blanc, des Miss. Étr. — « Dictionn. chinois-coréen. » Manuscr. in-4°, 100 ff. [Cf. M. Courant, *Bibliographie*, n° 73].

Anonyme des Miss. Étr. — « Vocabularium latino-coreanum. » Hongkong, 1891, in-8°, 301 p.

[**J. Coste**, des Miss. Étr.] — « Dictionn. coréen-français par les missionnaires catholiques de Corée. » Yokohama, 1881, in-4°, VIII-615, IV-57, II-23 p.

Par les mêmes. — « Gramm. coréenne. » Yokohama, 1881, gr. in-8°, XXII-194, IV-40 + 40 + 6 p.

Paul Perny, des Miss. Étr. — Dictionn. français-latin-chinois de la lang. mandarine parlée. » Paris, 1869, grand in-4°, 459 p. — **Id.** « Appendice du Dictionn. franç.-latin-chinois de la langue mandarine parlée. » Paris, 1872, grand in-4°, 445 p. — **Id.** « Gramm. de la lang. chinoise orale et écrite. » 2 vol. in-8°. — **Id.** « Dialogues chinois-latins. » 1 vol. in-8°.

[**Anonyme**, S. J.] — « Dialogues franç.-latins-chinois. » Ho-Kien-Fou, 1864, in-8°.

Ang. Zottoli, S. J. — « Cursus litteraturae sinicae. » Chang-Haï, 1879-1883, 5 vol. gr. in-8°, VIII-819 ; VII-655 ; XLIV-767 ; XX-820 ; XII-840 p. [Le P. Zottoli prépare un grand dictionn. de la lang. académique.]

Léon Wieger, S. J. — « Parler et style chinois. » Langage parlé. Langue écrite. Ho-Kien-Fou, 1893 et suiv., 12 vol. in-16 d'env. 600 p. en moyenne.

Séraph. Couvreur, S. J. — « Dictionn. franç.-chinois. » Ho-Kien-Fou, 1884, in-8°, 1027 p. Couronné par l'Académie des Inscr. — **Id.** « Dictionn. chinois-franç. » Ibid. 1890, gr. in-4°, IV-1024-76 p. (a reçu le prix Stan. Julien.) — **Id.** « Dictionn. sinicum et latinum », 2e éd., Ho-Kien-Fou, 1892, in-8°, 1200 p. — **Id.** « Guide de la Conversation franç.-angl.-chinois », 3e édition, Ho-Kien-Fou, 1901 (1re édition, 1886, in-8°, XI-204 p.) — **Id.** « Dictionn. classique de la lang. chinoise, par Clefs. » Ibid., 1904, in-4°, 1080 p.

Aug. Debesse, S. J. — « Petit dictionn. franç.-chinois. » Chang-Haï, 1900, in-18, VI-531 p.

Paul Vial, des Miss. Étr. — « Les Lolos : ... langue, écriture. » Chang-Haï, 1898, gr. in-8°, 71 p., 2 planches.

Anonyme, des Miss. Étrang. — « Dictionn. chinois-franç. de la lang. mandarine parlée dans l'ouest de la Chine, avec un vocab. franç.-chinois », par plusieurs mission. du Sé-Tch'oûan méridional. Hongkong (impr. des Miss. Étr.), 1893, in-4°, 736 p.

(?) **J. Naves.** — « Gramàtica Hispano-Ilocana », 2e éd., Tambobong, 1892, XII-431 p.

J. M. Fausto de Cuevas. — « Arte nueva de la leng. Ybanag », 2e éd. Manille, 1854, in-12, 23+366+25 p.

A. Carro. — « Vocabolar. de la leng. Ilocana. trabaj. por. varios religiosos de l'Ord. de N. P. S. Agustin, y ultimamente añadido... por dos religiosos del mismo orden. » Manille, 1849, in-fol., XII-361 p.

Julian Martin. — « Diccionario hispano-bisaya. » [Dans sa réédit. du dictionn. bisaya-espagn. du P. Al. de Mentrida. O. S. A.] Manille, 1841, gr. in-4°, p. 421 à 827.

J. F. de la Encarnacion. — « Diccionario Bisaya-Español y Español-Bisaya », 3e éd. Manille, 1885, in-8°, 2 tomes en un vol. VIII-437+349 p.

Pedro Villanova, O.P. (**L. Fern.**

(1) Voir ci-dessus, p. 602.

Cosgaya, O. P.). — « Diccion. Pangasinan-español, aumentado, ordenado y reformado. » Manille, 1865, in-fol., 330 et 121 p.

[**Guillermo Bennásar**, S. J.] — « Observationes gramat. sobre la leng. Tiruray. » Manille, 1892, in-8°, 56 p. — **Id.** « Diccion. Tiruray-Español. » Manille, 1892, in-8°, 201 p. — **Id.** « Diccion. Españ.-Tiruray. » Manille, 1893, in-8°. 175 p.

Mateo Gisbert, S. J. — « Diccion. Bagobo-Español. » Manille, 1892, in-8°, 64 p. — **Id.** « Diccion. Españ.-Bagobo. » Manille, 1892, in-8°, 188 p.

Jacinto Juanmartin, S. J. — « Gramática de la leng. de Maguindanao. » Manille, 1892, in-8°, 110 p. — **Id.** « Diccionario de la leng. de Maguindanao. » Ibid., 1893, in-8°, 272 p. — **Id.** « Segunda parte Español-moro Maguindanao. » 242 p.

J. Martinez y Sanz, S. J. — « Vocab. des Banapa Dialektes... », dans ZEITSCHR. FÜR AFRIK. UND OCEAN. SPRACHEN. 1897-1898, pp. 138-155.

P. Favre, des Miss. Étr. — « Gramm. de la lang. malaise. » Vienne-Paris, 1876, in-8°, 242 p. — **Id.** « Dictionn. franç.-malais. » Vienne-Paris, 1880, 2 vol. gr. in-8°, 931 et 915 p. — **Id.** Dictionn. malais-franç. » Vienne-Paris, 1875, 2 vol., gr. in-8°, 916 et 879 p. — **Id.** « Dictionn. javanais-franç. » Vienne-Paris, 1870, in-8°, 544 p. — **Id.** « Gramm. javanaise. » Paris, 1866, in-8°, XXXVII-185 p.

Arn. Van der Velden, S. J. — « Proeve eener spraakleer van de Laoreniesche taal. » Batavia, 1900, in-8°, 45 p.

Lamb. Calon, S. J. — « Bijdrage tot de kennis van het dialekt van Sikka. » Batavia, in-4°, 77 p.

Mgr A. Biet. — « Vocabulaire Lyssou recueilli à Tsekou. » 1890, in-4°, 21 p.

P. Guesdon. — « Dictionn. franç.-cambodgien (Khmer). » Ms. déposé à la Société de Géographie de Paris.

H.-J.-A. Azémar, Congr. de la Miss. — « Dictionn. Stieng. » Saïgon, 1886.

Mgr J.-B. Pallegoix, des Miss. Étr. — « Grammatica linguae Thai. » Bangkok, 1850, in-4°, 243 p. — **Id.** « Dictionarium ling. Thai sive Siamensis. » Paris, 1854. — 2e éd. (?) : « Diction. Latinum-Thài. » Bangkok (impr. de la Miss. Cathol.), 1897, in-8°, 992 p. — **Id.** « Dictionn. siamois-franç.-angl. », revu par J.-L. Vey (des Miss. Étr.). Bangkok (impr. de la Miss. Cathol.), 1896, in-4°, LXIX-1165 p.

P. Legrand de la Liraye, des Miss. Étr. — « Dictionn. élémentaire annamite-franç. », 2e éd. Paris, 1874, gr. in-8°, 262 p. — **Id.** « Prononciation figurée des caractères chinois en mandarin-annamite. » Édit. posthume. Autogr. Saïgon, 1876, in-fol., 426 p.

H. Dourisboure, des Miss. Étr. — « Dictionn. bahnar-franç. précédé de notions de gramm. » Hongkong, 1889, in-8°, XLV-363 p.

Mgr Taberd, des Miss. Étr. [d'après Mgr Pigneaux, des Miss. Étr. † 1799]. — « Appendix ad dictionarium latino-annamiticum. » Sérampore, 1838, in-4°.

Mgr J.-S. Theuzel, des Miss. Étr. — « Dictionar. annamitico-latinum. ex opere Ill. et Rev. Taberd... recognitum et notabiliter adauctum. » Ninh-Phu (impr. de la Miss. 1877, in-4°, XXXII-568 + 72 p.

H. Ravier, des Miss. Étr. — « Dictionarium latino-annamiticum completum et novo ordine dispositum cui accedit appendix... » Ibid., 1880, in-4°, XII-1270 + 72 p.

(?) **L. Cadière.** — « Phonétique annamite. » Paris, 1902, in-8°.

P. Génibrel, des Miss. Étr. — « Dictionn. annamite-franç. » (Impr. de la Miss.)

Mgr Caspar, des Miss. Étr. — « Dictionn. franç.-annamite. » (Ibid.)

P. Vallot, des Miss. Étr. — « Dictionn. franco-tonkinois ». — **Id.** « Gramm. annamite. »

J. De Smet, S. J. — « Rudiments of a mundari grammar. » Calcutta (impr. de la Miss.), 1891, in-8°, 81 p.

J. Hoffmann, S. J. — « Mundari grammar. » Calcutta, 1903, in-8°, 306 p. (imprimé aux frais du gouvernement des Indes).

A.-F.-X. Maffei. — Gramm. Concanie (« A sweet voice from the Konkani desert »). Mangalore, 1892, in-8°, 218 p.

Aug. Desgodins, des Miss. Étr. [Renou, Giraudeau...]. — « Dictionn. thibétain-latin-franç. », par les Missionn. catbol. du Thibet. Hongkong, 1899, in-4°, XII-1087 p.

Mgr M.-J. Cuaz, des Miss. Étr. — « Lex. franç.-laocien. » Hongkong (impr. de la Miss.), 1905, gr. in-4°, LXXV-490 p.

Phil. Ner. Pires (1). — « Grammatica Maratha. » Bombay, 1854.

P. Chounavel, Obl. Mar. Imm. — « A Grammar of the Sinhalese language ». Colombo, 1886, in-12, 250 p.

P. Jos. Gury, S. J. — « Dictionn. tamoul-latin. »

Mgr Charbonnaux, des Miss. Étr. et **P. Bouteloup**, des Miss. Étr. — « Dictionn. canara. » (Pondichéry ou Bangalore).

PP. Dupuis et **Mousset**, des Miss. Étr. — « Dictionn. tamoul-franç. » — « Dictionn. franç.-tamoul. » [Apparemment le même que le volume anonyme : « Vocab. franç.-tamoul, composé par deux missionnaires. » Pondichéry, 1850, in-8°, 420 p.]

Anonymes des Miss. Étrang. — « Abrégé de la gramm. franç.-tamoule. » Pondichéry (impr. de la Miss. Cathol.), 1892, in-8°, 241 p. — « Dictionn. tamoul-franç. » Ibid., 1895, in-8°. — « Dictionn. franç.-tamoul. » Ibid., 1873, in-8°. — « Vocab. franç.-tamoul. » Ibid., 1891, in-8°. — « Petit vocab. tamoul-franç. » Ibid., 1886, in-8°.

[**Mgr Marcellin Berardi.**] — « A Dictionary malayalim-latin-english », by a discalced Carmelite Missionary of the Verapoly Archdiocese. Verapoly, 1891, grand in-8°, 549 p. — [A composé également un dictionn. anglais-malayalim et une gramm. (en latin) (1).]

(1) P. Pires de l'Or. de S. Phil. de Néri ?

ASIE MINEURE

R. Youssouf (**Giuseppe Reali**, S. J.). — « Dictionn. turc-franç... » Constantinople, 1888, in-12, 1336 p. — **Id.** « Dictionn. portatif turc-franç. de la lang. usuelle. » Constantinople, 1890, in-16, 646 p. — **Id.** « Gramm. complète de la lang. ottomane... » Constantinople, 1892, in-8°, X-340 p.

Anonyme. — « Grammatica armena. » Rome (Propagande), 1879 (2).

Gabr. Cardahi, Maronite, profess. au Coll. de la Propagande. — « Gramm. syriaq. en arabe. » Rome, 1880, in-8°, 82+1 p. — **Id.** « Dictionar.

(1) La liste bibliographique publiée par un R. P. Capucin (Bien Public, 20 oct. 1904) contient les indications suivantes, qu'on souhaiterait un peu plus précises : Mgr Hartmann, O. M. C., « Gramm. hindoustanie. » — P. Dominique, O. M. C., « Vocab. de 35 000 mots en caractères thibétains-italiens. » — Mgr Pezzoni, O. M. C., « Gramm. italo-indienne » (Sindhi ? Pendjabi ? Kashmirien ?...). — « Gramm. hindoustanie... » — P. Laurent, O. M. C., Gramm. urdu. »

(2) Nous serions en droit d'énumérer ici bon nombre d'ouvrages des PP. Mékhitaristes de Venise et de Vienne.

syro-arabicum. » 2 vol. Beyrouth, 1887-1891, gr. in-8°, IV-620 et 701 p.

Joseph Guriel. — « Elementa ling. Chaldaicae. » Rome, 1860, 256 p.

L. d'Aleppo, O. F. M. — « Elementi di ling. araba. » Jérusalem, 1889, in-8°.

Anonyme, O. F. M. « Dizionario italiano-arabo. » Jérusalem (impr. francisc.), 1878, in-4°, 1203+169 p.

G. Eddé, S. J. — « Principes de la gramm. arabe » (en arabe). Beyrouth, 2 vol. in-12, 323 p. (souvent rééd.) (1).

L. Cheikho, S. J. et **A. Durand**, S. J. — « Elementa gramm. arabicae. » Ibid., 1896-1897, in-8°, IV-480 p.

D. Vernier, S. J. — « Gramm. arabe. » Ibid., 1891-1892, 2 vol. in-8°, IV-1246 p.

J.-B. Belot, S. J. — « Cours pratiq. de lang. arabe. » Ibid., 1896, in-8°, XV-299 p. — **Id.** « Dictionn. franç.-arabe », 2e éd. Ibid., 1890, 2 vol. in-8°, 1607, p. — **Id.** « Petit dictionn. franç.-arabe. » Ibid., 1892, in-18, 788 p. — **Id.** « Vocab. arabe-franç. » Ibid., in-8°, 1000 p. (tr. souvent rééd., a remplacé le « Dictionn. arabe-franç. » du P. Cuche, S. J., 2e éd. Ibid., 1883, in-8°, 1020 p.).

J. Hava, S. J. — « Arabic english Dictionary. » Ibid., 1899, in-8°, XIV. 910 p.

(1) Les indications qui suivent ne représentent qu'un extrait du catalogue de l'Imprimerie Catholique (voyez ci-dessus, p. 600). J'y ai vu imprimer en 1903 une grammaire arabe en italien, par un missionn., O. M. C., dont je n'ai pas retrouvé le nom. Il serait aussi parfaitement légitime d'enregistrer dans la présente notice de nombreux ouvrages philologiques, grammaticaux et lexicographiques édités par les missionnaires et sur leur initiative, tels que le Grand dictionn. arabe de Saïd Chartoûni. Beyrouth, 1899-1900, 3 vol. gr. in-8°, 12 et 1507 p.; 8 et 548 p.

J. Heury, S. J. — « Vocab. franç.-arabe. » Ibid., in-8°, 515 p. env. (tr. souvent rééd.).

J. Brun, S. J. — « Diction. syriaco-latinum. » Beyrouth, 1895, in-8°, IX-773 p.

Henr. Gismondi, S. J. — « Ling. syr. Gramm. » 2e éd., Beyrouth, in-8°, 319 p.

AFRIQUE

Alex. Mallon, S. J. — « Gramm. Copte. » Beyrouth, 1904, in-8°, XII-232-146 p.

[Le même auteur a en manuscrit un dictionnaire Copte (bohaïrique) latin-arabe.]

S. É. le Card. Guillaume Massaja, O. M. C. — « Lectiones grammaticales linguae amaricae necnon et linguae oromonicae. » Paris, 1867, in-8° [imprimé par ordre du gouvernement impérial] (1).

J. Schreiber, Congr. Miss. — « Manuel de la lang. tigraï. » Vienne, 1887-1893, in-8°, VIII-227 p.

Évangéliste de Larajasse, O. M. C. — « A Somali-English and English-Somali dictionary. » Londres, 1897, in-8°, XVII-301 p. — **Év. de Larajasse** et **Cyprien de Sampont**, O. M. C. — « A Practical Grammar of the Somali language with a Manuel of sentences. » Ibid.

Mgr Dupont, des Pères Blancs. — « Essai de gramm. kikemba. » Saint-Cloud, 1900.

Gust. De Beerst, des Pères

(1) Les notes de linguistique de S. E. le Card. Massaja et du P. Léon des Avanchers, O. M. C., jointes à celles de Chiarini, ont fourni la matière de la « Grammatica della lingua oromonica » de E. Viterbo (au t. III des *Viaggi pubblicati a cura e spese della Società Geografica Italiana*, Rome, 1887).

Blancs.—« Essai de gramm. tabwa. » ZEITSCHR. FÜR AFRIKAN. UND OCEAN. SPRACHEN, t. II, p. 271-287, 291-383.

Aug. De Clercq, des Miss. de Scheut. — « Esquisse de la lang. bakete. » Ibid., t. IV, pp. 316-336. — **Id.** « Les préfixes en langues bantoues. » Ibid., pp. 179-190, 193-198.

A. Capus, des Pères Blancs. — « Gramm. de Shisumba ». Ibid., t. IV, pp. 1-96, 97-123. — **Id.** « Dictionn. shisumba-franç. » Saint-Cloud, 1901, 147 p.

Mgr Livinhac, des Pères Blancs. — « Essai de gramm. ruganda. » Paris, 1885.

[d'après Mgr Monchamp].

L. L. (Mgr Livinhac) et **C. D.** — « Manuel de la lang. luganda comprenant la gramm., etc. », par deux Pères Blancs, mission. dans le Buganda. Einsiedeln, 1894, in-12, 290 p. (2e éd. du précédent, luganda = ruganda ?)

P. Flick, des Pères Blancs. — « Dictionn. et gramm. de la lang. massaï (Zanguebar allemand). »

[**Mgr Toulotte.**] — « Essai de Gramm. bambara », par un missionn. de la Soc. des Pères Blancs. Ségou, 1897, in-8°, 68 p.

P. S[auvant], des Pères Blancs. — « Manuel de la lang. bambara. » Alger, 1895.

[d'après Mgr Monchamp].

P. Van der Burght, des Pères Blancs. — « Eléments d'une Gramm. Kirundi. » Berlin, 1902, in-8°, 108 p. et 2 tableaux. — **Id.** « Dictionn. franç.-kirundi avec indication succincte de la signification swahili et allemande. » Bois-le-Duc, 1904, gr. in-8°.

Ch. Sacleux, Congr. du S.-E. — « Dictionn. franç.-swahili. » Paris, 1891, in-8°, XIX-989-XXXVI p.

Franç. Callet, S. J. — « Dictionn. scientifiq. de la lang. malgache » [demeuré interrompu à la mort de l'auteur (1885), 152 p. in-8°, comprenant une partie de la lettre A.].

Ant. Abinal, S. J., et **Victorin Malzac**, S. J. — « Dictionn. malgache-franç. » Antananarive, 1888. in-8°, XVI-813 p.

Vict. Malzac, S. J. — « Dictionn. franç.-malgache », nouv. éd. Paris, 1899, in-8°, XV-861 p. — **Id.** « Vocab. franç.-malgache », nouv. éd. Paris, 1900, in-16, 445 p.

[**Jos. Weber**, S. J.] — « Dictionn. malgache-franç., adapté aux dialectes de toutes les provinces. » Imprimé à l'Île Bourbon en 1855, in-8°, 850 p. — **Id.** « Gramm. malgache », 2e éd. Ibid., 1855, in-8°, 118 p.

« Dialogues franç.-malgaches », par les Missionn. Cathol. Antananarive, 1879, in-8°.

Laur. Ailloud, S. J. — « Vocab. franç.-malgache. » Antananarive (impr. de la Miss.), 1868, in-8°. — **Id.** « Gramm. malgache-hova. » Ibid., 1872, in-8°, III-383 p.

Pierre Caussèque, S. J. — « Gramm. et dictionn. malgaches. »

« Vocab. franç.-malgache », rédigé par les Missionn. Cathol. Antananarive, 1880, in-8°, 418 p.

Basilide Rahidy, S. J. — « Cours pratique de lang. malgache. » Paris, 1895, 3 vol. in-12. — « Gramm. », IV-107 p. — « Dialogues et vocab. franç.-malgache », 291 p. — « Exercices et voc. malgache-franç. », 146 p.

P. Delaunay, des Pères Blancs. — « Gramm. kiswahili. » Tours, 1898, in-8°, 179 p.

P. Daull, Congr. du S.-E. — « Gramm. kisouahili. » Colmar, 1879, in-8°, 125 p.

Ambr. Trapp [O. S. B. ?]. — « Grammatik der zulu-kaffrisch. Sprachen. » Mariannhill, 1890, in-8°, XII-210 p.

A.-M. Hartman, S. J. — « En-

glish-Mashona Dictionary, with an appendix of some phrases. » Cape-Town, 1894, in-12, 84 p.

V.-J. Courtois, S. J. — « Elementos de grammatica Tetense, lingua Chi-Nyungue », 2e éd. Coïmbre, 1900, in-8°, 244 p. (la 1re éd. avait paru en 1891 à Mozambique). — **Id.** « Diccionario cafre-tetense-portuguez ou idioma fallado no districto de Tete. » Coïmbre, 1900, in-8°, 98 p. — **Id.** « Diccionario portuguez-cafre-tetense. » Ibid., 1900, gr. in-8°, 497 p.

J. Torrend, S. J. — « Outline of a Xosa-Kafir grammar with a few dialogues and a Kafir tale. » Grahamstown, 1887, in-8°, 95 p. — **Id.** « A comparative grammar of the South-African Bantu languages. » Londres, 1891, gr. in-8°, XLVIII-336 p.

Aug. De Clercq, des Miss. de Scheut. — « Élements de la lang. kanioka. » Vanves (Paris), 1900, 44 p. — **Id.** « Vocab. franç.-kanioka. » Ibid., 1901, 71 p. — **Id.** « Vocab. kanioka-franç. » Ibid., 1901, 91 p. — **Id.** « Gramm. de la lang. des Bena Lulua. » Bruxelles, 1897 [voir ci-dessus, p. 613, col. 1].

J. Rivière, S. J. — « Dictionn. kabyle-franç., de la Kabylie du Djurdura. » Paris, 1882, in-18.

[**A. Olivier**, S. J.] — « Dictionn. franç.-kabyle. » Le Puy, 1878, in-8°, 316 p.

G. Huyghe, des Pères Blancs. — « Dictionn. kabyle franç. », 2e éd., Paris, 1901, in-8°, XXVII-354 p. — **Id.** « Dictionn. franç.-kabyle. » Malines, 1903.

— **Id.** « Dictionn. chaouias-franç., » et « Dictionn. franç.-chaouias » (*sous presse*) [d'après Mgr Monchamp].

Hacquard, des Pères Blancs, et **Dupuis**, des Pères Blancs. — « Manuel de la lang. soñgay [Gramm., Vocab. franç.-soñg. et soñg.-franç.]. » Paris, 1897, in-12, IV-283 p.

P. Cambier, des Miss. de Scheut. — « Essai de Gramm. congolaise » [lang. des Bangalas]. Bruxelles, 1891, petit in-8°, VIII-124 p.

[**Edm. Delplace**, S. J.] — « Éléments de la lang. congolaise... » Bruges, 1895, in-16, 95 p. — **Id.** « Essai d'un dictionn. fiot-franç. », autograph., 1898, in-8°, 671 p.

R. Butaye, S. J. — « Gramm. congolaise », autogr. Louvain, in-16, 90 p. — **Id.** « Dictionn. franç.-congol., et congol.-franç. », autogr. Gand, 1901, in-12, 632 p.

Al. Visseq, Congr. du S.-E. — « Gramm. fiote ou gramm. de la lang. du Congo » Paris, 1889, in-12, IV-64 p. — **Id.** « Dictionn. franç.-fiot de la lang. du Congo. » Paris, 1889, in-12, 156 p. — **Id.** Dictionn. fiot-franç. (dial. du Kakongo). » Paris, 1890, in-12, 145 p. — **Id.** « Dictionn. fiot-franç. » Paris, 1890, in-12 (1).

Mgr Carrie, Congr. du S.-E. — « Gramm. de la lang. fiote (dial. du Kakongo). » Loango, 1890, in-8°, 198 p.

P. Ussel, Congr. du S.-E. — « Petite gramm de la lang. fiote (dial. du Loango). » Loango, 1888, in-8°, 88 p. (2).

Padres da Missâo da Huilla [Congr. du S.-E.]. — « Apontamentos ineditos sobre o lu-nhaneka. »

P. Ferré, de la Congr. du S.-E. — « Dictionn. Kombé. »

P. Raimbault, de la Congr. du S.-E. — « Dictionn. franç.-soso et soso-franç. » Impr. de la Miss. du Rio-Pongo, 1885, in-18, X-165 p.

(1) L'imprimerie de la Mission du Congo français et portugais a édité sur place de nombreux travaux de Mgr Antunès, du P. Bonnefoux et du P. E. Lecomte (de la Congr. du Saint-Esprit).

(2) D'autres travaux sont attribués sans indication précise au P. Sublet, au P. Dérouet, au P. Marichelle, de la Congr. du Saint-Esprit.

P. Abiven, de la Congr. du S.-E. — « Essai de dictionn. pratique franç.-malinké. » Paris, 1896, in-12, 429 p. — **Id.** « Essai de gramm. malinkée. » Paris, 1896, in-12, 78 p. — **Id.** « Gramm. malinkée. » Paris, 1900. — **Id.** « Dictionn. malinké-franç. » Ibid. — **Id.** « Dictionn. franç.-malinké. » Ibid.

Philib.-Ém. Courdioux, des Miss. Afr. — Dictionn. abrégé de la lang. fongbé ou dahoméenne. 1re partie : « Dictionn. franç.-dahoméen ». Paris, 1879, in-8°.

Abbé Pierre Bouche, ancien missionn. au Dahomey. — « Étude sur la lang. nago ou yorouba. » Bar-le-Duc, 1880, in-8°, 51 p.

P. Boilat, prêtre sénégalais. — « Gramm. de la lang. woloffe. » Paris, 1858, gr. in-8°, 430 p. (couronné par l'Institut de France).

Mgr Kobès, de la Congr. du S.-E., — « Gramm. de la lang. ouolofe » — (et autres travaux sur les lang. du Sénégal).

« Dictionn. franç.-wolof » nouvelle édition, rev., corr., précédée d'une « Gramm. de la lang. wolofe, par les Pères Missionnaires » [de la Congr. du S.-E.]. Dakar, 1855, in-8°.

Les mêmes. — « Dictionn. wolof-franç. »

[**P. Gachon**, de la Congr. du S.-E.] — « Dictionn. franç.-pongoué, par les Missionn. de la Congr. du S.-E. Mission du Gabon. » Paris, 1876, in-12, 354 p. — **Id.** « Dictionn. pongoué-franç. précédé des principes de la langue pongouée. » Paris, 1881, XXXIX-287 p.

P. Lejeune, Congr. du S.-E. — « Dictionn. franç.-fang, précédé de quelques principes gramm. sur cette même langue. » Paris, 1891, in-8°, VIII-347 p.

Mgr Le Berre, de la Congr. du S.-E. — « Gramm. de la lang. pongouée. » Paris, 1873, in-12, 223 p.

P. Lamoise, de la Congr. du S.-E. — « Gramm. de la lang. sérère », 1869, in 8°.

P. Baudin, des Mission. Afric. « Dictionn. franç.-yoruba », 1889, in-8°, 560 p. — **Id.** « Dictionn. yoruba-franç. », 1889, in-8°, 612 p. — **Id.** « Essai de gramm. en lang. yoruba », 1889, in-8°, 118 p.

P. Aimé Ganot, de la Congrég. du S.-E. — « Grammaire ibo (suivie d'exercices sur la lang., et de deux lexiques). » Paris, 1899, 210 p. — **Id.** « English, Ibo and French Dictionary », by the Fathers of the Holy Ghost. Salzburg, 1904, in-8° de 306 p.

Ern. Lecomte, de la Congr. du S.-E. — « Methodo pratico da ling. Mbundu (Benguela) » (dans Boletim da Sociedade de geograph. de Lisboa, t. XVI, 1897, pp. 1-124).

P. Dahin. — « Vocab. franç.-adouma et adouma-franç. » Kempten, 1893-1895, in-8°, 72 et 72 p.

Paul Peeters, S. J.

BIBLIOGRAPHIE

I

Collection de monographies sur la Théorie des fonctions, publiée sous la direction de M. Émile Borel. — Paris, Gauthier-Villars :

Leçons sur les Fonctions de variables réelles et les Développements en Séries de polynomes, professées à l'École Normale supérieure par Émile Borel, et rédigées par Maurice Fréchet, avec des Notes par Paul Painlevé et Henri Lebesgue. Un vol. in-8°, de 160 pages; 1905.

Leçons sur les Fonctions discontinues, professées au Collège de France par René Baire, et rédigées par A. Denjoy. Un vol. in-8°, de 127 pages ; 1905.

Le Calcul des résidus et ses applications a la Théorie des fonctions, par Ernst Lindelöf, professeur à l'Université de Helsingfors. Un vol. in-8°, de 141 pages ; 1905.

Le succès de la collection entreprise il y a quelques années par M. Borel, et pour le développement de laquelle il a fait appel à divers collaborateurs spécialement qualifiés, s'affirme de façon éclatante. A peine une monographie vient-elle d'être livrée au public, qu'il en naît une autre ; leur ensemble va constituer une encyclopédie complète et détaillée de la théorie moderne des fonctions. Suivant d'ailleurs le programme primitif tracé par l'initiateur de cette œuvre d'un haut intérêt, chacune de ces monographies se suffit, en quelque sorte, à elle-même, ne faisant appel qu'aux notions qui appartiennent au fonds commun de connaissances que l'on doit supposer à quiconque est pourvu d'une éducation mathématique moyenne.

Absorbé par des travaux multiples, M. Émile Borel, encore

bien que fort éloigné de l'âge où l'on aspire à un repos même relatif, abandonne à certains de ses auditeurs le soin de rédiger ses leçons orales ; mais il s'en faut qu'il s'adresse pour cela au premier venu ; son choix se porte, au contraire, sur de jeunes travailleurs ayant eu l'occasion de s'affirmer personnellement, et se trouvant déjà en possession de l'estime des milieux savants, capables aussi, le cas échéant, ainsi qu'il le dit lui-même, de mettre au point quelques démonstrations dont il s'est contenté d'indiquer la marche générale. Ces qualités peuvent être louées notamment chez M. Fréchet dont la rédaction ne fait rien perdre à l'expression de la pensée de l'auteur.

Usant d'une latitude que l'intelligente direction de M. Jules Tannery laisse aux maîtres de la section scientifique de l'École Normale supérieure, M. Borel a pu, ainsi qu'il l'a déjà fait pour trois autres parties de sa collection, professer la matière de son livre devant les élèves de cette école avant de la donner à l'impression. C'est là une condition excellente. Quelque mérite qu'ait un savant et à quelques méditations qu'il se soit livré sur un sujet avant de le présenter au public, il n'arrive à en mettre l'exposé définitivement au point qu'après avoir donné à cet exposé la forme orale telle que l'exige l'amphithéâtre.

Le sujet ici traité par M. Borel embrasse la représentation des fonctions de variables réelles au moyen de séries de polynomes. Jugeant " préférable d'admettre parfois quelques brèves redites plutôt que de renoncer à l'indépendance des volumes de la collection ", il n'hésite pas à reprendre, dans un premier chapitre, les notions générales sur les ensembles qui sont essentielles à son sujet, bien que les ayant déjà exposées avec tout le développement nécessaire dans un précédent ouvrage, le premier en date de toute la collection (1).

Dans le Chapitre II, il précise de la façon la plus rigoureuse les notions si délicates relatives à la continuité. A propos de la définition de l'intégrale, il fait ressortir de façon lumineuse la différence des points de vue de Riemann et de M. Lebesgue (2).

Le Chapitre III renferme les généralités sur les séries de fonctions réelles, notamment d'après les travaux fort remarquables de M. Arzela qui ont mis en évidence la condition nécessaire et suffisante pour qu'une série à termes continus dans un

(1) Voir la Revue de janvier 1899, p. 256.
(2) Voir la Revue d'octobre 1904, p. 615.

certain intervalle représente une fonction continue dans le même intervalle.

C'est dans le Chapitre IV que se trouve la partie culminante, en quelque sorte, du sujet, celle qui se rapporte à la représentation des fonctions continues quelconques au moyen de séries de polynomes, représentation dont la possibilité reconnue pour la première fois par Weierstrass constitue un de ses plus beaux théorèmes. Après avoir rappelé la démonstration de l'illustre analyste, l'auteur, vu l'importance primordiale de la question, en indique plusieurs autres comme celles de M. Picard (pour laquelle il renvoie au *Traité d'Analyse* du savant géomètre) et de M. Volterra. Il développe également les méthodes, affranchies du caractère transcendant des précédentes, qui sont dues à MM. Lebesgue et Mittag-Leffler et que l'on peut rattacher à un important Mémoire de M. Runge. Il se trouve ainsi amené aux méthodes d'interpolation et, après avoir remarqué, comme M. Runge l'avait fait de son côté, que la formule de Lagrange ne donne pas toujours une approximation croissante avec le degré du polynome employé, il expose le principe de la belle méthode de Tchebichef permettant de trouver le polynome qui, dans un certain intervalle, donne une plus grande approximation que tous les polynomes de même degré.

L'extension aux fonctions discontinues fait l'objet du Chapitre V. L'auteur se borne d'ailleurs à esquisser la solution complète du problème qui est due, comme on sait, à M. Baire et que celui-ci a développée dans le volume de la collection signalé ci-dessous.

Une remarquable démonstration du théorème général de M. Baire, due à M. Lebesgue, fait d'ailleurs l'objet d'une note spéciale insérée en annexe par M. Borel à la suite d'une autre note, rédigée par M. Painlevé, dans laquelle cet éminent géomètre donne les démonstrations des résultats si remarqués qu'il a, en ces derniers temps, fait connaître dans les Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris relativement au développement des fonctions analytiques, et pour lesquels il a su si habilement utiliser les belles recherches de M. Mittag-Leffler.

Le but poursuivi par M. Baire dans le volume qu'il a signé pour la collection Borel, est l'étude approfondie des fonctions discontinues représentables par des séries de fonctions continues. Il a pu, lui aussi, mettre son exposé au point grâce à l'enseignement oral qu'il lui a été permis de donner au Collège de France dans la chaire fondée par le legs Peccot ; et il a égale-

ment abandonné à un de ses auditeurs, M. Denjoy, élève de l'École Normale supérieure, le soin de rédiger ses leçons.

Le sujet qu'aborde M. Baire est de ceux qui se classent aujourd'hui dans les parties les plus abstraites de la science, mais, ainsi qu'il le fait très justement remarquer dans sa préface, " dans l'interprétation mathématique des phénomènes naturels, on fait tour à tour, et en quelque sorte suivant les besoins de la cause, appel aux deux notions de continu et de discontinu. S'il est vrai par exemple qu'en Mécanique on suppose en général que les vitesses varient d'une manière continue, dans la théorie des chocs et des percussions on raisonne comme si ces vitesses subissaient des variations brusques. Il ne s'agit que d'approximations, c'est entendu ; mais on voit que le discontinu, tout comme le continu, peut servir dans l'approximation. Certaines théories de Physique, de Chimie, de Minéralogie ne sont pas sans présenter quelque analogie avec le discontinu mathématique. Dans tous les cas, en dépit du vieil adage heureusement démodé, rien ne permet d'affirmer que " la nature ne fait pas de „ sauts „. Dans ces conditions, le devoir du mathématicien n'est il pas de commencer par étudier, *in abstracto*, les rapports de ces deux notions, continu et discontinu, qui, tout en s'opposant l'une à l'autre, sont intimement liées entre elles ? C'est peut-être là le meilleur moyen de préparer l'avènement d'une Physique mathématique dans laquelle la part de l'hypothèse serait réduite au minimum. „

Dans le Chapitre I, après avoir, par quelques exemples simples, précisé la notion des fonctions discontinues développables en séries de fonctions continues, l'auteur établit les théorèmes fondamentaux sur les fonctions limites de fonctions continues qui l'amènent à la notion des ensembles de points et à celles y annexées dont, à son tour, il reprend l'exposé élémentaire. Cette répétition, d'un volume à l'autre de la collection, outre qu'elle a l'avantage, comme nous l'avons déjà dit, de maintenir à chacun d'eux sa complète autonomie, offre l'intérêt, par la variété des modes d'exposition des divers auteurs, de multiplier pour le lecteur les voies d'accès en un domaine d'un abord particulièrement difficile, ce qui ne laisse pas d'être fort appréciable.

Le Chapitre II est consacré à la notion des ensembles bien ordonnés et à celle des nombres transfinis qui en est une suite nécessaire puisqu'elle permet la désignation précise de l'ordre relatif des éléments d'un tel ensemble. Tout en se conformant, dans son plan général, à l'exposition suivie, dans ses dernières

publications, par M. G. Cantor, le créateur de la doctrine, l'auteur l'a modifiée pour n'en conserver que ce qui est utile à l'objet qu'il a en vue ; il a su, en outre, l'éclaircir par un heureux choix d'exemples concrets.

Dans le Chapitre III, il applique les notions ainsi acquises aux ensembles de points. Il s'étend notamment sur les ensembles parfaits non denses et fait une étude générale des ensembles fermés.

Ainsi armé, l'auteur s'attaque au problème capital qu'il a en vue, les résultats obtenus sur les ensembles de points lui permettant d'étudier le rôle que joue la distribution des points de discontinuité dans les propriétés des fonctions. C'est, dans le Chapitre IV, par les fonctions d'une variable qu'il débute. Après avoir introduit des notions nouvelles indispensables, relatives à la continuité et à la discontinuité des fonctions les plus générales, il établit en toute rigueur la condition nécessaire pour qu'une fonction soit limite de fonctions continues et donne ensuite une extension aux théories précédentes en étendant les notions définies en partant du continu au cas où l'on prend pour base de raisonnement un ensemble parfait quelconque.

La recherche des conditions suffisantes pour qu'une fonction soit limite de fonctions continues est particulièrement ardue, et, afin de graduer la difficulté, l'auteur traite d'abord le cas d'une fonction définie sur le segment (0,1) et partout égale soit à 0, soit à 1.

Le problème général est renvoyé au Chapitre V où, pour aborder les fonctions de n variables, l'auteur doit avant tout reprendre les questions précédemment étudiées dans le cas des ensembles linéaires, en se plaçant cette fois dans le cas des ensembles de points d'un espace à n dimensions. Il parvient ainsi aux conditions nécessaires d'abord, suffisantes ensuite, les plus générales pour qu'une fonction discontinue soit limite de fonctions continues. N'ayant d'ailleurs, pour écarter certaines difficultés d'ordre secondaire, envisagé seulement jusque-là que des fonctions *bornées*, il lève enfin cette dernière restriction pour donner toute leur portée aux très beaux résultats qu'il a obtenus. Il termine en signalant quelques cas particuliers des fonctions mises ainsi en évidence, celui notamment des fonctions semi-continues, et en indiquant le principe de la classification qu'il a proposée pour les fonctions suivant la nature de leurs discontinuités, classification dans laquelle les fonctions continues constituent la classe 0, et les fonctions étudiées dans le présent volume la classe 1,

les fonctions de la classe n étant, d'une manière générale, limites de fonctions de la classe $n - 1$.

L'ouvrage de M. Lindelöf nous ramène aux sources de l'analyse moderne. " Les progrès réalisés depuis quelques années dans la théorie des fonctions analytiques ont fait ressortir, dit-il, combien sont toujours fécondes et efficaces les méthodes ingénieuses créées par Cauchy, parmi lesquelles il convient de citer en premier lieu le calcul des résidus. Il n'est donc pas sans intérêt de revenir maintenant sur ce calcul classique et d'étudier systématiquement le rôle qu'il joue dans la théorie des fonctions proprement dite. „ Ce passage dit tout le programme du volume de M. Lindelöf qui emprunte d'ailleurs un intérêt spécial à la façon originale en plusieurs de ses parties dont l'auteur traite le sujet sur lequel il est aisé de reconnaître qu'il a profondément médité.

Le Chapitre I est consacré aux principes et théorèmes fondamentaux et, tout en y affirmant sa méthode personnelle, l'auteur a grand soin de préciser l'origine et la portée des découvertes de Cauchy au sujet desquelles on rencontre parfois dans la littérature des indications assez peu exactes.

Avec le Chapitre II s'ouvrent les applications du calcul des résidus, en commençant par les plus classiques de celles qui sont dues à Cauchy lui-même. Ces applications visent en premier lieu: les fonctions symétriques des racines d'une équation et le développement des fonctions implicites, puis divers exemples relatifs aux fonctions méromorphes, notamment à leur décomposition en fractions rationnelles, enfin le calcul des intégrales définies parmi lesquelles l'auteur en a choisi plusieurs qui interviennent dans la suite de l'ouvrage. Répétons qu'en dépit du caractère aujourd'hui classique de cette partie du sujet l'auteur, par l'élégance de son exposé, a su en renouveler l'intérêt.

Une des plus importantes applications du calcul des résidus a trait aux formules sommatoires dont les premiers exemples obtenus par Euler, Plana et Abel par une voie purement formelle sont venus se grouper, avec leurs conséquences multiples, autour d'un même principe simple et naturel, grâce à l'introduction de la méthode de Cauchy, développée par Schaar, Genocchi, Hermite, etc. Après avoir, au Chapitre III, lumineusement mis en évidence les principes relatifs à ces formules sommatoires, d'abord dans le cas des fonctions holomorphes puis dans celui des fonctions qui, tout en restant uniformes dans la région con-

sidérée, y possèdent un nombre fini de points singuliers, l'auteur en souligne immédiatement l'importance par diverses applications curieuses notamment à la célèbre formule d'Euler et Mac-Laurin et à celles analogues de Boole, Sonin et Hermite.

Le Chapitre IV est réservé à l'étude, faite au moyen de ces formules, de la fonction *gamma* et de la fonction de Riemann dont les expressions et développements, trouvés à différentes époques et par différentes méthodes, dérivent ici systématiquement du calcul des résidus. Ce chapitre contient aussi quelques résultats nouveaux relatifs à la série de Stirling.

Enfin le Chapitre V fait pénétrer les conséquences du calcul des résidus au cœur même de la théorie des fonctions en les rattachant à la notion du prolongement analytique et à l'étude asymptotique des fonctions définies par un développement de Taylor. Ici l'auteur s'inspire des travaux récents de MM. Hadamard, Mellin, Le Roy que les siens propres ont d'ailleurs très utilement complétés. Ainsi qu'il le dit lui-même, le cadre assez exigu dans lequel il a dû maintenir son exposé l'a forcé à laisser de côté bien des questions intéressantes; mais, telle qu'elle est, son exposition sera de la plus grande utilité pour ceux qui désirent approfondir le sujet.

M. O.

II

Le Calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques, par Maurice d'Ocagne, ingénieur des Ponts et Chaussées, répétiteur à l'École polytechnique. Deuxième édition entièrement refondue et considérablement augmentée. Un vol. in-8° de viii-228 pages, avec 72 figures dans le texte. — Paris, Gauthier-Villars, 1905.

Les lecteurs de la Revue connaissent depuis longtemps M. d'Ocagne, l'un de ses collaborateurs les plus distingués. Les comptes rendus nombreux et variés dont il enrichit ce recueil, témoignent éloquemment de la profondeur et de l'étendue de ses connaissances en mathématiques pures et appliquées.

M. d'Ocagne est un savant doublé d'un novateur. C'est lui qui fixa définitivement la théorie de la nomographie en groupant

rationnellement les matériaux épars, en généralisant et élargissant les résultats : à ce titre, on peut le considérer comme le véritable fondateur du calcul nomographique.

Si les travaux de cet éminent géomètre s'adressent aux praticiens qui peuvent dans leurs études et leurs projets en tirer les plus grands profits, ils intéressent également les théoriciens. Il serait trop long d'énumérer les noms des auteurs qui, dans tous les pays, se sont basés dans leurs écrits sur la nomographie ocagnienne, mais rappelons que l'Académie des Sciences de Paris a couronné les ouvrages de M. d'Ocagne et lui a décerné le prix Poncelet en décembre 1902.

Tout en ayant un but plus modeste que le *Traité de Nomographie* et surtout que l'*Exposé synthétique des principes fondamentaux* de cette science, le *Calcul simplifié*, dont la deuxième édition vient de paraître, est appelé à rendre les meilleurs services en mettant à la portée du grand nombre les procédés mécaniques et graphiques qui ont pour objet la simplification du calcul.

Un compte rendu de la première édition a paru dans la Revue, en juillet 1894. Ce compte rendu signé P. M. se terminait ainsi : " Nous appelons spécialement l'attention de nos lecteurs sur le dernier chapitre, où M. d'Ocagne complète l'histoire de la nomographie en en faisant connaître les derniers progrès et les dernières applications. L'une de celles-ci mérite d'être signalée ici : M. d'Ocagne a imaginé récemment (Bulletin astronomique de janvier 1894) un abaque qui permet de résoudre à vue les triangles sphériques dans tous les cas possibles. „ La résolution nomographique des triangles sphériques à laquelle il vient d'être fait allusion, présentait l'inconvénient de nécessiter l'emploi d'ellipses pour la construction graphique. Nous sommes heureux de pouvoir signaler que depuis lors M. d'Ocagne, dans un mémoire publié dans le Bulletin de la Société mathématique de France (octobre 1904), a constaté que l'abaque qu'il avait construit pour la détermination de la distance, abaque qui ne comprend que des droites, peut servir à la résolution de n'importe quel triangle sphérique, en sorte que ce nomogramme prend un caractère général qui n'avait pas été soupçonné à l'origine.

La deuxième édition, dont nous nous proposons de donner un court aperçu, est divisée dans ses grandes lignes comme l'était la première. Elle comprend : I. Les instruments arithmétiques. — II. Les machines arithmétiques. — III. Les instruments et machines logarithmiques. — IV. Les tables numériques (barèmes).

— V. Les tracés graphiques. — VI. Les tables graphiques ou abaques.

L'ouvrage se termine par un résumé, des conclusions et deux annexes. L'une donne la description et le mode d'emploi de la machine à mouvement continu de Tchebichef ; l'autre fournit des renseignements sur la machine à différences, systèmes G. et E. Scheutz.

Si le plan général de l'ouvrage a été maintenu dans la deuxième édition, celle-ci diffère considérablement de la première dans les détails. Tout d'abord, le second paragraphe, traitant des machines arithmétiques, s'est complété par une description des machines à touches. " C'est en Amérique que les machines à touches ont pris une forme vraiment pratique qui leur a permis de devenir l'objet d'une production industrielle.

„ La combinaison d'additionneurs imprimants à touches, avec des enclenchements se prêtant à certains contrôles, a donné naissance à des machines capables d'assurer tous les besoins de la comptabilité des maisons de commerce. Construites par l'usine des frères Patterson à Dayton sous le nom de caisses enregistreuses, ces machines font maintenant l'objet d'une industrie considérable (1). Dans les comptomètres, toute la manœuvre se réduit aux pressions sur les touches. Ces machines permettent par répétitions d'effectuer les multiplications et divisions. Toutefois, quand il s'agit de multiplier l'un par l'autre deux facteurs d'un grand nombre de chiffres chacun, la manœuvre est assez longue et il vaut mieux recourir aux machines à multiplier. „

Dans le même paragraphe, nous trouvons une description assez détaillée, avec figures à l'appui, de la fameuse machine de Leibniz. " L'illustre inventeur du calcul différentiel fit construire successivement deux modèles de sa machine (1694 et 1706). Malheureusement l'habileté des mécaniciens auxquels il s'adressa pour la réalisation de son projet ne se trouva pas à la hauteur de l'ingéniosité de sa conception, car, en dépit de la peine et de l'argent (une centaine de mille francs, dit-on) qu'il y dépensa, il ne parvint pas à un résultat pratiquement satisfaisant, et le seul de ses modèles qui soit parvenu jusqu'à nous est resté à l'état de simple curiosité scientifique. „

Le chapitre traitant des instruments et machines logarith-

(1) " En 1883, les frères Patterson employaient deux ouvriers à fabriquer les cinquante machines qu'ils arrivaient à placer dans l'année. En 1903, ils en faisaient travailler quatre mille pour produire les soixante mille machines vendues annuellement. „

miques renferme une notice explicative de la machine Torrès à résoudre les équations. " Cette machine est fondée sur une combinaison d'échelles logarithmiques portées par des tambours. L'ensemble de deux tambours dit arithmophore logarithmique permet de marquer tous les nombres depuis 10^{-16} jusqu'à 10^{16}, grâce à la propriété de l'échelle logarithmique de se reproduire identiquement dans chaque intervalle compris entre deux puissances de 10 consécutives. Le premier modèle construit par M. Torrès se prête à la résolution des équations trinomes de la forme

$$x^9 + A\,x^8 = B$$
$$x^9 + A\,x^7 = B. \text{ "}$$

Enfin, au dernier chapitre, dans une note sur la théorie nomographique la plus générale, l'auteur fait ressortir la différence fondamentale du calcul graphique proprement dit et du calcul nomographique.

Nous aurions voulu trouver dans cette nouvelle édition un peu plus de renseignements pratiques concernant les machines arithmétiques et logarithmiques. Les noms des fabricants, par exemple, les prix de revient des machines les plus intéressantes, ainsi que quelques coupes permettant de comprendre plus aisément les mécanismes.

Une comparaison entre les diverses machines modernes de Bolée, de Tchebichef, de Steiger, etc., faisant ressortir les avantages et les inconvénients de chacune d'elles, aurait eu aussi son intérêt pour bien des lecteurs. L'auteur dit peu de chose de la machine de Steiger appelée la *millionnaire* ; elle est cependant l'une des plus pratiques et commence à jouir d'une véritable vogue.

Hâtons-nous d'ajouter qu'une bonne partie de ces lacunes peuvent être aisément comblées par le lecteur lui-même, car l'ouvrage est abondamment pourvu d'indications bibliographiques fort précises.

En résumé, le *Calcul simplifié* est d'une lecture très agréable grâce à la clarté et à la méthode d'exposition. Il constitue une publication excellente, qui mérite une place à part dans la collection des ouvrages de vulgarisation mathématique. Cette seconde édition sera consultée avec fruit par l'ingénieur, le financier, le mécanicien, le navigateur, etc., aujourd'hui que le calcul est devenu une partie importante, non la moins pénible, assurément, de leur labeur quotidien.

EDGARD JACOBS.

III

Geschichte der Elementar-Mathematik in systematischer Darstellung von Dr. Johannes Tropfke, Oberlehrer am Friedrich-real-Gymnasium zu Berlin. Erster Band. Rechnen und Algebra. Mit Figuren im Text. Un vol. in-8° de VIII-332 pages. — Leipzig, Verlag von Veit & C°, 1902. — Zweiter Band. Geometrie. Logarithmen. Ebene Trigonometrie. Sphärik und sphärische Trigonometrie. Reihen. Zinseszinsrechnung. Kombinatorik und Wahrscheinlichkeitsrechnung. Kettenbrüche. Stereotomie. Analytische Geometrie. Kegelschnitte. Maxima und Minima. Mit Figuren im Text. Un vol. in-8° de 496 pages. — Leipzig, Verlag von Veit & C°, 1903.

L'utilité de l'histoire générale des sciences et de celles des sciences mathématiques en particulier n'est plus contestée de nos jours. Il est superflu d'y insister. Mais tout autre est la question de connaître la meilleure méthode pour en introduire peu à peu les notions principales dans l'enseignement et surtout dans l'enseignement moyen. C'est évidemment l'œuvre du professeur de mathématiques ; mais le professeur lui-même, où puisera-t-il pour cela les connaissances requises ? Les traités et les manuels techniques sont le plus souvent muets en ce qui concerne les notions historiques. Que s'ils s'avisent de vouloir en donner quelques-unes, celles-ci, on ne le sait que trop, sont presque toujours entachées des erreurs les plus graves. On possède, il est vrai, les *Vorlesungen* de Cantor, chef-d'œuvre d'érudition rempli de renseignements variés et très sûrs ; mais les *Vorlesungen* sont d'un maniement peu commode pour le lecteur pressé par le temps et ne présentent aucune des facilités que l'on est habitué à trouver dans l'emploi d'un dictionnaire.

M. Tropfke a cru, avec raison, qu'il y avait place pour un livre destiné aux professeurs et écrit sur un plan nouveau. Laissant aux grands ouvrages de Montucla, de Chasles, de von Braunmühl, de Zeuthen, de Cantor le soin de développer l'histoire générale des mathématiques, il s'est attaché à suivre l'ordre naturel dans lequel les définitions, les théorèmes et les problèmes se présentent dans l'enseignement et indique à propos de chacun d'eux les renseignements historiques principaux qui s'y rapportent. Malgré les difficultés qu'entraîne pareil travail, M. Tropfke a écrit du premier coup un livre excellent, qui

pourrait aisément devenir presque parfait dans une seconde édition.

Telle que l'auteur nous présente sa *Geschichte der Elementar-Mathematik*, on peut cependant lui reprocher des parties trop écourtées, quelques doubles emplois, et aussi certaines scissions malheureuses dans l'exposé des méthodes et des théories. C'était le danger du plan adopté par le savant de Berlin et il n'a pas su en éviter tous les écueils. M. Eneström s'est fait l'écho autorisé de ces critiques dans la BIBLIOTHECA MATHEMATICA (1). Je ne puis que m'y rallier, car elles sont justes ; mais je regretterais d'en voir exagérer l'importance. C'est que, encore une fois, malgré les légers défauts qu'on peut lui reprocher, M. Tropfke a écrit un livre qu'on ne saurait trop recommander aux professeurs de l'enseignement moyen. La traduction de la table des matières leur fera d'ailleurs suffisamment connaître la variété des questions qui y sont traitées.

TOME PREMIER. *Première partie. Du calcul*, pp. 3-122.

A. Des Nombres en général : 1. Noms des nombres ; 2. Chiffres.

B. Mesures : 1. Mesure du temps ; 2. Mesure des angles ; 3. Mesures décimales.

C. Nombres entiers. I. Calcul des nombres entiers : 1. Calcul mental ; 2. Calcul écrit : *a*. Des opérations en général ; *b*. Des opérations en particulier : α. Addition ; β. Soustraction ; γ. Multiplication ; δ. Division ; *c*. Opérations abrégées. 3. Des nombres concrets. II. Propriétés des nombres entiers. III. Tables d'opérations.

D. Fractions : 1. Fractions ordinaires : *a*. Généralités ; *b*. Des opérations en particulier ; 2. Fractions décimales.

E. Calcul appliqué : 1. Règle de trois : 2. Règle d'intérêt ; 3. Moyenne ; 4. Gains et Pertes ; 5. Escompte ; 6. Tare des marchandises ; 7. Mélanges ; 8. Règle de société ; 9. Du change.

Deuxième partie. Algèbre, pp. 123-322.

A. Terminologie algébrique : 1. Coup d'œil d'ensemble ; 2. Histoire des notations et des symboles algébriques modernes. 3. Généralisation de l'emploi des lettres pour représenter les grandeurs.

(1) 3e série, t. IV. Leipzig, 1903, pp. 213-218, 404-412. M. Eneström signale dans ce compte rendu des inexactitudes de détail. Elles ne sont ni assez importantes, ni assez nombreuses pour faire tort à la *Geschichte* de M. Tropfke, mais il faut en tenir compte. Voir aussi, dans l'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE, VIIe année, n° 2, 12 mars 1905, pp. 167-191, un compte rendu de M. H. Suter.

B. Du mot " Algèbre ".

C. Développement de la notion de nombre : 1. De l'unité ; 2. Du zéro ; 3. L'infini ; 4. Nombres fractionnaires ; 5. Nombres irrationnels ; 6. Nombres négatifs ; 7. Nombres complexes.

D. Opérations algébriques : 1. Addition, soustraction, multiplication, division ; 2. Exponentielles : *a*. Définition, notation, terminologie ; *b*. Calcul exponentiel ; 3. Racines : *a*. Définition, extraction des racines ; *b*. Terminologie, notations ; *c*. Calcul des radicaux.

E. Proportions : 1. Théorie des proportions. 2. Notation, terminologie.

F. Équations : 1. Coup d'œil historique d'ensemble. Concept des quantités connues et inconnues. Leur mode d'emploi ; 2. Équations du premier degré à une inconnue ; 3. Équations du premier degré à plusieurs inconnues ; 4. Équations du second degré : *a*. Équations simples du second degré ; *b*. Équations réciproques. Équations quadratiques à plusieurs inconnues ; 5. Équations du troisième degré ; 6. Équations du quatrième degré ; 7. Équations d'un degré supérieur au quatrième ; 8. Équations indéterminées.

Appendice I. Tableau chronologique des principaux progrès accomplis dans les notations algébriques.

Appendice II. Exemples du style et de l'écriture algébriques aux diverses époques de l'histoire, extraits des auteurs originaux.

Tome second. *Troisième partie. Géométrie* (il s'agit exclusivement de la géométrie plane), pp. 3-138.

A. Généralités : 1. Coup d'œil sur l'histoire des progrès de la géométrie ; 2. Langue géométrique, figures ; 3. Axiomes, définitions, terminologie générale.

B. Théories spéciales : 1. Ligne droite. Angles ; 2. Triangles. Congruences ; 3. Problèmes de construction ; 4. Quadrilatère ; 5. Cercle ; 6. Quadratures et équivalence des surfaces ; 7. Théorie de la similitude ; 8. Polygones réguliers ; 9. Mesure du cercle.

Quatrième partie. Logarithmes, pp. 141-186.

A. Invention des logarithmes. Les premières tables.

B. Technique des tables.

C. Construction des tables de logarithmes.

D. Calcul logarithmique. Symboles. Formules. Terminologie. Logarithmes d'addition.

E. Séries logarithmiques. Logarithmes naturels.

Cinquième partie. Trigonométrie plane (1), pp. 189-248.

A. Coup d'œil historique.

B. Les fonctions trigonométriques : 1. Concept du sinus et du cosinus d'un angle ; 2. Concept de la tangente et de la cotangente d'un angle ; 3. Concept de la sécante et de la cosécante d'un angle ; 4. Du mot *sinus ;* 5. Du mot *cosinus ;* 6. Des mots *tangente* et *cotangente ;* 7. Des mots *sécante* et *cosécante ;* 8. Symboles.

C. Formules de goniométrie.

D. Formules de trigonométrie : 1. Loi du sinus ; 2. Loi du cosinus ; 3. Loi de la tangente ; 4. Formules donnant les angles en fonctions des côtés ; 5. Formules exprimant l'aire des surfaces ; 6. *Diversa* (2) ; 7. Quadrilatères.

Sixième partie. Géométrie de la sphère et Trigonométrie sphérique, pp. 251-305.

A. Coup d'œil historique.

B. Géométrie de la sphère : 1. Définition. Terminologie ; 2. Des cercles dessinés à la surface de la sphère ; 3. Triangles et polygones sphériques.

C. Trigonométrie sphérique : 1. Triangles rectangles ; 2. Triangles obliquangles : *a*. Loi du sinus ; *b*. Loi du cosinus ; *c*. Loi de la cotangente ; *d*. Cas fondamentaux. Formules spéciales employées dans certains cas fondamentaux : formules exprimant les angles en fonction des côtés, formules exprimant les côtés en fonction des angles ; *e*. Périmètre et surface des triangles sphériques ; *f*. Propositions se rapportant à d'autres éléments des triangles sphériques ; *g*. Relations entre les triangles rectilignes et les triangles sphériques. Appendice : Tables trigonométriques.

Septième partie. Séries, pp. 309-340.

A. Progressions arithmétiques.

B. Progressions géométriques.

C. Progressions arithmétiques d'ordre supérieur.

(1) L'auteur nous avertit dans la préface du tome II que son travail était déjà sous presse quand parurent les *Vorlesungen über Geschichte der Trigonometrie* de von Braunmühl. Il a pu néanmoins tenir compte des principaux résultats contenus dans le premier volume de l'ouvrage du professeur de Munich, mais la chose lui a malheureusement été impossible pour le second.

(2) Sous ce titre l'auteur nous donne quelques-unes des principales formules de la géométrie du triangle. M. Tropfke a cependant exclu du cadre de son travail toute la géométrie récente du triangle, ce qu'on ne saurait d'ailleurs lui reprocher.

D. Séries d'ordre supérieur.

Huitième partie. Règle d'intérêt, pp. 341-348.

Neuvième partie. Combinaisons et probabilités, pp. 349-358.

Dixième partie. Fractions continues (1), pp. 359-366.

Onzième partie. Stéréotomie, pp. 369-404.

A. Coup d'œil historique.

B. Questions spéciales : 1. La ligne droite dans le plan et dans l'espace; 2. Mesure des surfaces et des volumes : *a*. Généralités; *b*. Le parallélipipède et le prisme; *c*. La pyramide; *d*. Le cylindre et le cône; *e*. La sphère et les corps de révolution en général; *f*. Les corps en général. Principe de Cavalieri. Règle de Simpson.

Douzième partie. Géométrie analytique, pp. 407-428.

A. Géométrie analytique du plan.

B. Géométrie analytique de l'espace.

C. Terminologie.

Treizième partie. Sections coniques, pp. 431-456.

A. Aperçu historique.

B. Propriétés spéciales des coniques : Ellipse, hyperbole, parabole.

Quatorzième partie. Maxima et Minima (2), pp. 456-465.

Table alphabétique des matières, 466-494.

Pour terminer ce compte rendu, il me reste à signaler une des particularités les plus heureuses de la *Geschichte* de M. Tropfke, je veux dire : les 1233 notes du bas des pages du premier volume et les 1835 notes du second. Toujours très substantielles et fort courtes, elles sont presque exclusivement destinées à indiquer au lecteur les endroits des ouvrages où se trouvent développés les sujets dont M. Tropfke n'a pu donner dans son récit que le résumé succinct. D'une érudition étendue, très sûre et du meilleur aloi, l'auteur ne se contente pas d'invoquer les traités d'histoire, il renvoie fréquemment aux écrits originaux des mathématiciens eux-mêmes. C'est qu'ils lui sont évidemment très familiers. Aussi, je me plais à le constater, l'historien des mathématiques

(1) On ne voit pas bien la raison d'être de ces huitième, neuvième et dixième parties, qu'il eût été bien plus naturel de faire rentrer soit dans la première, soit dans la seconde. Comme partie autonome, la neuvième qui traite des combinaisons et des probabilités est par trop abrégée ; tandis que cette extrême brièveté s'excuserait davantage en faisant de cette partie une simple subdivision de l'algèbre.

(2) Comme partie autonome, elle est de nouveau par trop écourtée.

trouvera chez M. Tropfke plus d'un renseignement qu'il chercherait vainement ailleurs.

H. Bosmans, S. J.

IV

Traité théorique et pratique d'Électricité, par H. Pécheux, professeur à l'École nationale d'Arts et Métiers d'Aix, avec notes par J. Blondin et E. Néculcéa, et préface de J. Violle, membre de l'Institut. Un vol. grand in-8° de xx-719 pages, avec 789 figures dans le texte. — Paris, Ch. Delagrave, 1905.

Le savant physicien qui a daigné accorder son patronage à ce livre a loué l'auteur d'avoir " pris soin de se limiter, tout en disant sur chaque sujet ce qu'il importe de faire connaître „ ; puis il couvre de sa haute approbation la disposition des matières, " ordonnées de la façon la plus simple en l'état actuel „ ; enfin il déclare que cet ouvrage, " sans faire double emploi avec aucun autre, rendra un utile service dans l'enseignement d'une science qui sollicite à juste titre tant de bons esprits „. Il est peu de livres d'électricité dont on pourrait dire tant de bonnes choses : la préface de M. Violle constitue donc pour ce traité une recommandation qui lui garantit le succès.

Les annotateurs du livre l'ont complété en développant certains calculs étrangers au programme des Écoles d'Arts et Métiers, mais que les candidats au certificat supérieur d'électricité industrielle ne sauraient ignorer. Ce sont de lumineuses démonstrations, qui éclairent les théories et les précisent, sans rompre l'unité de l'ouvrage : le petit caractère adopté pour ces notes prévient le lecteur d'avoir à aiguiser son attention pour aborder ces exposés, d'un niveau supérieur, et par suite d'une lecture moins facile.

Nous jugeons inutile de faire connaître le contenu du livre, en copiant ici sa table des matières ; qu'il nous suffise de dire que le traité est complet, et qu'il mérite bien d'être appelé théorique et pratique.

A. Witz.

V

La Bobine d'Induction, par H. Armagnat, chef du Bureau des Mesures électriques des Ateliers Carpentier. Un vol. in-8° de VI-223 pages, avec 109 figures dans le texte. — Paris, Gauthier-Villars, 1905.

Au cours de ces dernières années et grâce à des découvertes importantes — celle des rayons X, entre autres, dont l'étude et les applications réclament des appareils puissants et réguliers — la bonne vieille bobine d'induction s'est singulièrement transformée. Sa théorie, à peine ébauchée, a été poussée aussi loin que le permet la complexité des phénomènes qu'elle embrasse. Sa construction a été perfectionnée dans toutes ses parties. Ses dimensions ont augmenté, son aspect s'est modifié, sa puissance surtout est devenue formidable. Son fonctionnement, jadis capricieux, s'est assoupli et discipliné. Ses applications se sont étendues et se retrouvent dans une foule de recherches les plus variées et les plus intéressantes, les plus utiles et les plus fécondes en découvertes. De tout ce progrès, un aperçu toujours incomplet, parfois inexact, se rencontre çà et là dans un traité de physique récent ; encore bien des manuels qui datent d'hier en sont-ils restés aux vues anciennes. Il y avait donc place pour un ouvrage spécial, bien moderne, où tous ces progrès seraient largement exposés. C'est la tâche que s'est imposée M. H. Armagnat, et il l'a réalisée de la façon la plus heureuse. Les professeurs de Physique et tous ceux qu'intéressent à un titre quelconque la construction, l'installation, le maniement, la théorie, les applications des bobines d'induction, lui seront reconnaissants de leur avoir fourni en des pages claires, précises, abondamment documentées, un exposé suffisamment complet et bien au point de tout ce qui concerne ces appareils et leurs perfectionnements modernes.

Dans le premier chapitre, qui sert d'introduction, l'auteur rappelle sommairement ce qu'est la bobine d'induction et définit les termes spéciaux dont il aura à se servir. Un résumé historique des origines et des transformations successives de ces bobines et de leurs accessoires forme le sujet du second chapitre.

Vient ensuite la théorie que l'auteur développe dans les deux chapitres suivants. Dans le troisième, il suppose la bobine munie

d'un interrupteur mécanique et il étudie les phénomènes qui se produisent à la fermeture, à l'ouverture du circuit primaire et au cours d'une période complète. Il applique les indications de la théorie à la bobine sans condensateur, fermée sur une résistance ohmique, et en vérifie expérimentalement les conclusions. La théorie exposée jusque-là suppose qu'il ne se produit aucune étincelle à l'interrupteur au moment où le circuit est rompu. Or cette étincelle existe et l'expérience montre qu'elle joue un rôle important. L'auteur s'y arrête longuement et expose à ce sujet des vues originales et leur vérification expérimentale. Le rôle de la capacité secondaire et celui du fer sont étudiés avec le même soin. Enfin, pour épuiser tous les éléments du problème, l'auteur envisage ce qui se passe lorsqu'une décharge se produit au secondaire.

Le chapitre IV étend ces considérations au cas plus complexe d'une bobine munie d'un interrupteur électrolytique. Les données expérimentales et les phases du phénomène en montrent la complexité : ici la théorie en est encore aux tâtonnements.

Le chapitre V s'occupe du courant secondaire. Il se partage en quatre paragraphes qui traitent des potentiels explosifs, des étincelles, de la marche d'une décharge par étincelles et des propriétés de celles-ci.

La puissance et le rendement des bobines, et ce qui s'y rapporte : la mesure des constantes, les essais à faire et la manière de les conduire, les accidents auxquels les bobines sont exposées et les défauts qu'elles peuvent avoir, sont l'objet du chapitre VI.

Le chapitre suivant traite de leur construction, moins les interrupteurs dont les plus intéressants — et la série en est longue — sont présentés avec détails dans le chapitre VIII.

A côté de la bobine d'induction telle que l'auteur l'a envisagée jusqu'ici, se placent des dispositifs spéciaux qui en dérivent : ils nous introduisent dans ce qu'on est convenu d'appeler " la haute fréquence „. Tels sont les dispositifs dont Tesla a donné le principe. M. Armagnat trace les schémas de ces principaux systèmes et en explique le fonctionnement dans le chapitre IX.

Il aborde les applications des bobines dans le chapitre X. Après avoir fourni sur l'installation et le réglage d'utiles renseignements, il passe à l'emploi des bobines pour la charge des grandes capacités, cas qui se rencontre fréquemment aujourd'hui pour la télégraphie sans fil, les ondes hertziennes en général, les courants de Tesla, la spectroscopie. Vient ensuite l'appli-

cation à la radiographie et à la radioscopie ; l'inflammation des mélanges explosifs, entre autres dans les moteurs à explosion, etc.

Le dernier chapitre est une liste bibliographique, avec analyse sommaire, des principaux ouvrages et mémoires parus sur la bobine d'induction. Elle comprend 91 références, s'ouvre par un mémoire de Henry publié en 1832 dans l'American Journal of Science, et se ferme par un article de K.-R. Johnson publié dans les Comptes rendus de 1904. On y trouve l'indication des sources pour les publications de A. Masson, Fizeau, Foucault, Ruhmkorff, Mouton, R. Colley, Tesla, T. Mizuno, A. Wehnelt, Blondel, H. Th. Simon, Fr. Klingelfuss, Hemsalech, Lord Rayleigh, Armagnat, etc.

J. T.

VI

Neue Beiträge zur Frage des mathematischen und physikalischen Unterrichts an den höheren Schulen, Vorträge gehalten bei Gelegenheit des Ferienkursus für Oberlehrer der Mathematik und Physik. Göttingen, Ostern, 1904. Gesammelt und herausgegeben von F. Klein und E. Riecke mit einem Abdruck verschiedener einschläger Aufsätze von E. Götting und F. Klein. Teil I. Enthaltend Beiträge der Herren O. Behrendsen, E. Bose, E. Götting, F. Klein, E. Riecke, J. Stark, K. Schwarzschild. Un vol. grand in-8° de VI-190 pages, avec 6 figures dans le texte. — Leipzig, B. G. Teubner, 1904.

Les écoles supérieures dont il est question dans ces conférences sont celles que nous classons dans l'enseignement secondaire, c'est-à-dire les établissements d'humanités anciennes ou modernes et les écoles moyennes. On sait que dans les universités allemandes il se fait des cours de vacances *(Ferienkursus)* pour les instituteurs, pour les professeurs des gymnases, des Realschulen, etc. Ce sont des leçons données dans ces occasions par F. Klein et E. Götting sur l'enseignement des mathématiques, par E. Riecke, O. Behrendsen, J. Stark, E. Bose, K. Schwarzschild sur celui de la physique et de l'astronomie, qui ont été réunies dans ce recueil. Un second volume suivra bientôt le premier.

Il y a dans ces conférences des choses fort intéressantes au point de vue pédagogique. Dans celles qui traitent des mathé-

matiques, la thèse principale est qu'il faudrait introduire dans l'enseignement élémentaire les premiers principes du calcul dit supérieur, à savoir la notion et l'usage de la dérivée et de l'intégrale, et aussi celle de la fonction et de sa représentation par une courbe. Cette réforme est instamment demandée à un double point de vue. D'abord parce qu'elle serait singulièrement utile à l'enseignement de la physique expérimentale, de la chimie et même des sciences biologiques dans les Universités, sans compter que le droit lui-même y trouverait un sérieux avantage, vu l'extension croissante des connaissances financières nécessaires en pratique dans cette carrière. En second lieu, parce qu'il est de la nature de l'enseignement élémentaire de ne pas se cantonner dans l'étude exclusive de certaines branches des mathématiques, surtout dans des développements surannés et sans rapport avec les tendances actuelles de la culture scientifique, mais qu'il doit comprendre l'initiation modérée à toutes les méthodes vraiment importantes par leurs applications ou leur valeur intrinsèque d'éducation, et susceptibles d'être mises à la portée des adolescents d'intelligence moyenne.

Ce n'est pas ici le lieu de discuter ces idées, qui contiennent incontestablement une part de vérité. Tous les jours elles gagnent du terrain, non seulement en Allemagne, mais aussi en Autriche, en Suisse, dans d'autres pays encore, où elles figurent au programme des dernières réunions de professeurs d'enseignement moyen. Faisons remarquer seulement qu'elles seraient infiniment plus malaisées à mettre en pratique dans notre enseignement secondaire belge que dans l'organisation allemande, qui comprend un plus grand nombre d'années d'étude.

Les conférences qui s'occupent de la physique insistent surtout sur la nécessité de rendre cet enseignement pratique en exerçant les facultés d'observation et de raisonnement, de manière à diminuer le rôle souvent trop prépondérant de la mémoire. Celle de E. Riecke présente un exposé simple des principes de l'électricité appuyés sur la théorie des ions. Travail d'utilité éminemment pratique, celui-là ; car la doctrine des ions ne peut manquer de se faire bientôt sa place dans l'enseignement même le plus élémentaire.

V. S.

VII

L'Éther principe universel des forces, par A. Marx, inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, Mémoires résumés par C. Benoit. Un vol. grand in-8° de x-217 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1905.

Il ne manque pas d'ouvrages qui se donnent pour la synthèse générale des forces de la Nature et l'explication intégrale de l'Univers. Les lecteurs avisés s'abstiennent de les ouvrir et n'y perdent rien. Si leurs auteurs s'y montrent parfois ingénieux, ils ne sont, le plus souvent, que sottement prétentieux et lamentablement incohérents. Leurs connaissances scientifiques, quand ils en ont, sont tout en surface et ils les croient profondes, double raison de leur ardeur à tout expliquer et de leur belle assurance qu'ils y ont réussi.

Il y a des exceptions, mais elles sont rares. L'œuvre de M. Marx en est une et non des moins heureuses ; cette fois les lecteurs auraient tort de s'en tenir à l'étiquette : le livre est " d'un penseur en même temps que d'un homme de science, très versé dans les choses de la Physique ". Ce jugement autorisé se lit dans le rapport dont les travaux de M. Marx ont fait l'objet à l'Académie des Sciences de Paris.

Sans doute, on peut ouvrir et fermer ce livre avec la conviction que les problèmes dont il traite sont insolubles ou indéterminés ; mais on n'aura pas perdu son temps à le lire ni même à l'étudier. On y trouve, en effet, un excellent exposé des questions les plus profondes de la Physique mathématique, des vues théoriques originales et intéressantes, une synthèse où l'effort tenté pour établir, entre les différentes parties de la physique, un lien logique qui ramène tout à une question d'énergétique, aboutit à un mode d'exposition non pas seulement ingénieux mais scientifique.

M. Marx est clair, parce qu'il a manifestement creusé à fond ses idées. Ses définitions sont nettes ; ses déductions se suivent avec ordre. Les redites, il y en a, trahissent des remaniements successifs, mais ne nuisent guère au développement général qui se déroule avec méthode dans le résumé qui nous est ici présenté. C'est bien l'œuvre d'un penseur.

C'est aussi celle d'un homme de science et c'est ce qui garantit, en tout état de cause, la valeur de ce travail et le profit

qu'on peut en retirer. Avant d'expliquer les lois de l'univers, M. Marx n'a pas cru, comme tant d'autres, qu'il fût superflu de les étudier, et il en parle en maître. Pas de généralités vagues et très éloignées des recherches et des résultats de l'expérience ; il les a, au contraire, toujours présents à l'esprit quand il pousse son système jusqu'aux conséquences qui doivent les rattacher tous à un même principe. Pas de raisonnements à larges mailles qui laissent entrer ou sortir ce qui aide au but ou ce qui le contrarie ; mais un enchaînement serré de déductions logiques dont les conclusions sont suffisamment précises pour que la critique puisse s'en emparer et assez intéressantes pour qu'elle s'y exerce.

C'est aux physiciens que l'ouvrage s'adresse. Bien que les connaissances mathématiques que suppose sa lecture n'aient rien de très transcendant, elles dépassent cependant les éléments et il faut y joindre plus que de simples notions de physique.

" L'ensemble des travaux de M. Marx, dit M. C. Benoit dans l'avant-propos, se compose de trois Mémoires principaux. Le premier est relatif à l'étude de l'attraction universelle, le deuxième à l'électricité et le troisième aux actions moléculaires... L'ensemble ne constitue pas un ouvrage suivi ;... pour en faciliter la lecture, il convenait de les condenser en quelque sorte en un corps unique où chaque théorie fût autant que possible isolée de celle qui la précède comme de celle qui la suit.

„ C'est ce travail qu'a songé à entreprendre la famille de M. Marx, dans le but de donner à l'œuvre de celui-ci toute la publicité qu'elle paraît comporter, et c'est ainsi que nous avons été amené à présenter ci-après un résumé des Mémoires produits par M. Marx. Ce résumé est d'ailleurs presque exclusivement constitué par des extraits du travail de M. Marx ; notre rédaction n'intervient que dans quelques notes et quelques phrases destinées soit à servir d'introduction à certaines études, soit à relier entre eux différents extraits. „

Les deux premiers mémoires furent soumis par leur auteur à une commission nommée par l'Académie des Sciences et formée de MM. Boussinesq, Cornu, Poincaré, Sarrau et de Lapparent, rapporteur. On a reproduit dans le présent ouvrage le texte du rapport de M. de Lapparent.

" Pour répondre aux observations contenues dans ce rapport, poursuit M. C. Benoit, et en vue de donner satisfaction à la demande de la commission, M. Marx a placé en tête de son troisième travail, celui qui traite de la constitution moléculaire, un

résumé de ces deux premiers mémoires dans lequel il s'est attaché à mettre sous une forme analytique et saisissable par le calcul les conceptions fondamentales de la théorie. Certains passages de ce résumé ont été intercalés dans le travail actuellement présenté. „

Celui-ci se partage en trois livres. Le premier résume le mémoire de M. Marx relatif à l'*attraction universelle*.

Le point de départ de toute cette synthèse et l'idée fondamentale de ce premier mémoire s'inspirent de l'hypothèse de Fresnel pour qui chaque atome pondérable était entouré d'une atmosphère d'éther condensé. Transformant cet énoncé, M. Marx admet qu'au sein de l'éther, se comportant comme un gaz parfait, l'atome pondérable, analogue au centre d'une sphère électrisée négativement, constitue un centre de dépression permanent. Cette notion entraîne comme conséquences immédiates, l'attraction apparente mutuelle en raison directe des actions dépressives et en raison inverse du carré des distances, et la faculté, pour la matière sensible, d'enlever au milieu général et d'absorber à son profit une certaine quantité d'énergie qui produit et entretient les mouvements de ses propres molécules. Ces mouvements deviennent les sources des vibrations calorifiques, lumineuses et électriques qui émanent des corps pondérables et se propagent dans le milieu ambiant sous forme d'ondes de formes et d'amplitude variées.

Le livre II résume les études de M. Marx sur l'*électricité*.

Pour M. Marx, l'électricité n'est autre chose que de l'éther en tension positive ou négative, c'est-à-dire à l'état de condensation ou de dilatation par rapport à son état normal. Un corps électrisé renferme donc de l'éther condensé ou dilaté qu'il entraîne avec lui dans ses mouvements et qui se met en équilibre avec le milieu ambiant, l'état de tension de ce dernier se trouvant lui-même modifié dans les mêmes conditions qu'il l'est autour d'une molécule élémentaire absorbant de l'énergie. C'est sur ces principes que l'auteur base son exposé de l'Électrostatique qui comprend, outre les faits généraux, l'étude de l'induction, de la polarisation des diélectriques, de leur élasticité, celle des courants de déplacement de Maxwell et des courants de conduction.

En Électrodynamique, M. Marx explique le courant, dans le circuit d'une pile, par des vibrations dynamiques issues de la source dont la tension est la plus élevée et qui provoquent et entretiennent dans les éléments du conducteur des ondulations

impulsives qui se traduisent par une élévation de température. Ces vibrations provoquent à leur tour, dans le milieu général ambiant, des ondulations isochrones, et par suite y font naître un champ électrique où se passent les phénomènes d'induction électrodynamique. M. Marx étend l'application de sa théorie aux radiations électriques et étudie leur assimilation aux ondes lumineuses ; élargissant son exposé, il y fait rentrer l'étude de la nature et du mode de formation des ondulations diverses de l'éther. Les ondulations gravifiques seraient longitudinales, les ondulations lumineuses et électriques seraient hélicoïdales : celles-ci se prêteraient, dans les mêmes conditions que les ondes transversales, aux phénomènes de polarisation, mais elles fourniraient des éléments nouveaux à l'étude de propriétés d'une nature exceptionnelle révélées par les rayons X, les rayons ultraviolets, etc.

Le livre III reproduit en entier le mémoire sur la *constitution moléculaire*. On y trouve l'application des mêmes idées à l'analyse de l'état d'équilibre des gaz et des liquides, et à la détermination des lois qui président à leur changement d'état dans toutes les conditions de température et de pression.

" L'éther, conclut l'auteur, est donc le principe de la gravité ; il tend à rapprocher tous les corps noyés dans son milieu ; c'est lui qui leur imprime le mouvement, et c'est à son énergie propre que sont empruntées les énergies répondant aux vitesses des masses pondérables. Mais l'énergie même de l'éther est la conséquence directe de l'état de mouvement dans lequel sont constitués ses atomes élémentaires. Si donc on veut remonter au delà de la donnée suprême de la théorie et de l'expérience, qui nous montre toute énergie dans le monde prenant naissance dans l'énergie propre de l'éther, on se trouve en présence de la question de l'origine de la force ou, plus généralement, de la cause à laquelle se rattache l'état de mouvement des atomes premiers de l'éther, doués de masse, avec les propriétés de l'inertie, comme les molécules des milieux pondérables. C'est là une question dans laquelle nous n'avons pas à entrer, mais qu'il nous fallait tout au moins poser, pour préciser le point où l'idée de cause ou de force entre nécessairement dans l'étude des phénomènes de la nature, et pour indiquer en même temps l'étendue du champ réservé exclusivement aux investigations scientifiques. „

J. T.

VIII

The Study of Chemical Composition, an account of its method and historical development with illustrative quotations, by Ida Freund, staff Lecturer and Associate of Newnham College, Cambridge. Un vol. grand in-8° de xvi-650 pages, avec figures et diagrammes dans le texte. — Cambridge, University Press, 1904.

Les ouvrages de vulgarisation — nous parlons des meilleurs — et maints traités classiques nous présentent la science " toute faite ". Les faits y sont rangés en bel ordre, du simple au composé, tels qu'ils se fussent présentés si les conquêtes de l'observation et de l'expérience avaient constamment marché suivant les lignes de moindre résistance. Les découvertes se succèdent à souhait et ne trahissent ni tâtonnements, ni efforts. Les lois sont énoncées en termes catégoriques qui ne laissent place à aucun doute sur leur exactitude, à aucune restriction sur leur portée, à aucun scrupule sur leur application. Les hypothèses se dissimulent discrètement sous un symbolisme ingénieux qui joue en si brillant costume et en si beau langage le rôle de la réalité qu'on finit par s'y méprendre. Les théories, développées avec art, s'adaptent avec une souplesse merveilleuse et une fécondité inépuisable aux phénomènes de la nature qu'elles expliquent avec aisance et prévoient même avec succès. Les preuves, souvent difficiles, sont remplacées par des analogies complaisantes, et on les manie si habilement qu'elles donnent l'illusion de l'intuition de toutes choses, même des plus obscures et des plus cachées.

La vraie science, celle qui se fait tous les jours, ressemble à la science toute faite comme le plan d'un édifice ressemble au chantier de construction. Elle n'est pas le monument achevé, débarrassé des échafaudages qui ont servi à l'élever et dont on nous fait admirer la façade ; elle n'est pas la superbe et puissante machine qu'on nous montre loin des ateliers où l'on a forgé et ajusté ses organes, et dont toutes les parties solidement assises et savamment ordonnées semblent se mouvoir spontanément et travailler sans effort.

Mais, fût-elle cela, que tout esprit curieux de s'instruire ne se bornera pas à l'admirer. Il voudra en démonter et en étudier une à une toutes les pièces, se rendre compte de leur construc-

tion, de leur agencement, de leur adaptation au but poursuivi. Il désirera connaître le plan primitif de cette merveille, savoir comment il a été conçu et réalisé, quels remaniements on lui a fait subir et quelles raisons les ont imposés. Il considérera comme une bonne fortune l'occasion d'entrer en relation avec les inventeurs et les constructeurs et d'apprendre d'eux les principes qui les ont guidés dans leurs découvertes, les difficultés qu'ils y ont rencontrées et les leçons qu'ils en ont retirées. Rien de plus intéressant, rien de plus instructif qu'une semblable visite aux ateliers de la science, aux laboratoires où elle se fait, surtout si l'on y replace les savants qui les ont illustrés dans le mouvement et l'activité de leurs fécondes recherches.

Tel est l'objet du livre de Mme Ida Freund.

Ce n'est, à aucun titre, un ouvrage de vulgarisation. Tout y est sans doute de lecture attrayante, mais la science qu'on y rencontre vit, se transforme, cherche, tâtonne, engage des batailles, remporte des victoires et subit des revers.

Ce n'est ni un cours complet de chimie, ni une série de leçons sur quelques chapitres plus importants de la science des combinaisons ; et cependant on y trouve exposés en excellents termes, appuyés sur de nombreuses données numériques, les principes essentiels, les grandes lois de la chimie, et bien des pages — celles qui traitent de la cristallographie, par exemple — seraient parfaitement à leur place dans un traité classique.

Ce n'est pas non plus l'histoire proprement dite de la chimie, ni celle des chimistes, bien qu'on y donne de nombreux renseignements biographiques et l'analyse des documents principaux où cette histoire est en germe.

C'est moins encore une série de monographies sans lien qui les rattache entre elles et à un plan général nettement conçu et fidèlement suivi.

C'est surtout l'histoire des idées et des méthodes, moins l'encombrement des détails qu'elle embrasse quand elle prétend être complète ; c'est celle de leur genèse et de leur développement, des luttes qu'elles ont provoquées, des défaites qu'elles ont essuyées, et des triomphes qu'elles ont remportés ; celle aussi des conceptions géniales, des grandes découvertes remises à leur place et à leur rang dans la marche des idées qui les ont provoquées et de celles qu'elles ont fait naître. C'est une sorte de résurrection de la science, mieux que cela, c'est la science vivante, sortant de l'observation, évoluant et se transformant au creuset de l'expérience, comme le minerai extrait du sol évolue

et se transforme au feu, à la forge et à l'atelier, sous l'effort du travail guidé par l'intelligence.

Quelles sont les connaissances empiriques qui ont été le point de départ de la connaissance scientifique? Quel est l'esprit de la méthode qui a présidé à leur élaboration? Sur quel terrain, dans quelles circonstances, sous quelles influences ont germé les idées générales et les vues directrices? Comment procèdent l'observation, l'expérimentation, la métrologie aux prises, dans leur travail journalier, avec les multiples causes d'erreur qui leur disputent la conquête de la vérité? Quelle part revient à l'interprétation subjective des phénomènes observés, dans l'énoncé des lois qui les généralisent et le développement des théories qui les coordonnent? De quelles recherches, plus ou moins précises, sont sorties ces lois? Quel est leur degré d'exactitude, quelle est la portée de leur application? Quel est, dans ce travail de généralisation et de coordination, le rôle du symbolisme? Quel est celui des hypothèses, quelle est leur nature et quelles sont leurs fonctions?

Telles sont, en un rapide et incomplet aperçu, les questions qu'agite ce livre où l'auteur appuie chacun de ses pas sur des preuves et des exemples tirés des ouvrages et des mémoires des maîtres de la science.

Ce qui rend, en effet, sa lecture très attrayante, c'est l'abondance des citations, la lumière, la vie et le mouvement qu'elles y mettent. Ce n'est point l'auteur qui expose, raconte, discute : ce sont les créateurs eux-mêmes de cette merveilleuse machine qui l'inventent, la construisent et la font travailler sous nos yeux. C'est de chimie qu'ils nous parlent, mais il ne faut pas être chimiste de profession pour les entendre; notre guide intervient à propos pour ajouter des explications qui, pour eux, seraient superflues, mais qui suppléent aux connaissances qui manqueraient aux autres. Il ne faut pas être chimiste surtout pour s'intéresser à cette étude et pour en tirer profit. Tous ceux pour qui l'histoire et la philosophie des sciences offrent quelqu'attrait s'y plairont et sauront gré à l'auteur de les avoir introduits en si docte compagnie, et de leur avoir permis de recueillir des faits eux-mêmes de si utiles leçons.

Par la manière dont il se développe, l'ouvrage de Mme Freund échappe à une analyse détaillée. D'ailleurs, les titres seuls des chapitres qui le composent en marqueront suffisamment le plan et l'unité. En les reproduisant nous les ferons suivre çà et là de

quelques brèves indications sur les idées générales qui y sont exposées et nous signalerons les noms des savants dont les travaux servent surtout de preuves et d'exemples, mais sans en épuiser la liste.

Introduction. *La méthode des sciences inductives. Observation, généralisation et loi. Hypothèse et théorie.* — Après avoir exposé le but des sciences naturelles et l'objet spécial de la chimie, l'auteur étudie la méthode scientifique. Elle comprend l'observation, l'expérience, la mesure, la généralisation dans l'établissement des lois, la coordination dans le développement des théories. Un mémoire de Lavoisier, les recherches de Davy sur l'électrolyse de l'eau, celles de Rayleigh et Ramsay sur les différences que présente la densité de l'azote puisé à des sources variées servent d'exemples de la manière d'observer, d'interpréter, de conclure.

Chapitre I. — *Théories de la combustion.* — L'histoire du Phlogistique fournit l'exemple du développement et de l'abandon d'une théorie. Ce sont les vues et les travaux de Becher, de Stahl, de Priestley, de Bayen, de Rey, de Hooke, de Lavoisier surtout qui forment la trame de cette histoire.

Chapitre II. — *Lavoisier et la loi de la conservation des masses.* — Au nom du grand chimiste français s'associe ici, et en toute justice, celui du chimiste belge J. Stas dont les travaux occupent une large place dans tout le cours de l'ouvrage.

Chapitre III. — *Loi exacte et loi approchée.* — Les données expérimentales sont toujours entachées d'erreurs d'origine multiple et qui affectent différemment les résultats. Les unes sont accidentelles : la répétition des mesures et l'application des méthodes des moyennes les atténuent ; les autres sont constantes et réclament une explication. Il faut en rapprocher les écarts systématiques qui se manifesteraient soit entre les mesures successives d'une même quantité : recherches de Morley sur la densité de l'oxygène et de Rayleigh sur celle de l'azote ; soit entre les nombres théoriques et expérimentaux : loi de Boyle ou de Mariotte, résultats de Dulong et Arago, de Regnault, etc. Interprétation dans la théorie cinétique des gaz ; formule de Van der Waals. La loi de compressibilité des gaz fournit l'exemple d'une loi approchée. Retour à la loi de la conservation des masses, travaux de Morley, de Stas, de Landolt ; nous avons ici l'exemple d'une loi exacte.

Chapitre IV. — *Berthollet et la loi d'action des masses.* — Notre pouvoir de transformation de la matière est limité. L'affi-

nité domine ces transformations. Vues et travaux de Stahl, de Geoffroy, de Bergman. L'œuvre de Berthollet.

Chapitre V. — *Proust et la loi des proportions définies.* — La complexité des faits impose des distinctions entre les différents composés. Les rapports pondéraux suivant lesquels les corps s'unissent sont invariables dans chaque composition proprement dite. C'est la loi de Proust ; Marignac la croyait approchée ; les travaux de Stas en font une loi exacte.

Chapitre VI. — *Dalton et la loi des proportions multiples.* — Découverte de cette loi ; faits sur lesquels Dalton l'appuie ; travaux qui les confirment : Th. Thomson, Wollaston, Berzelius, Stas et Dumas. La loi de Dalton est une loi exacte.

Chapitre VII. — *Richter et la loi des proportions équivalentes.* — Le terme " équivalent " est introduit par Cavendish. Observations et discussions de Bergman et Lavoisier. Les découvertes de Richter et les travaux qu'elles provoquent. Berzelins. Stas. La loi de Richter est une loi exacte.

Chapitre VIII. — *Poids de combinaison ou équivalents. Symboles.* — Les travaux de Stas servent encore d'exemples. Appendice : *Choix d'un système de valeurs des poids de combinaison.*

Chapitre IX. — *La constitution de la matière. Hypothèses antérieures à 1800.* — L'atomisme du philosophe indien Kanada. Les Ioniens. Les Éléates. Les philosophes atomistes : Leucippe, Démocrite, Épicure, Lucrèce. Les principes fondamentaux de leur doctrine. Le *Timée* de Platon. Aristote, Geber, Paracelse. Les trois principes et les quatre éléments. Bacon, Descartes, Gassendi, Boyle, Newton. La conception atomique est généralement acceptée à la fin du XVIIIe siècle.

Chapitre X. — *Dalton et la théorie atomique.* — Elle donne une explication satisfaisante des lois qui régissent les combinaisons chimiques.

Chapitre XI. — *Gay-Lussac et la loi des volumes gazeux de combinaison.* — Recherches de Gay-Lussac et de Humboldt. Énoncé de la loi. Son interprétation dans la théorie atomique. Ses conséquences. La loi est d'autant plus approchée que les gaz considérés sont plus voisins de l'état parfait.

Chapitre XII. — *Avogadro et l'hypothèse moléculaire.* — Modification de l'hypothèse de Dalton imposée par les faits et conforme à la théorie cinétique.

Chapitre XIII. — *Cannizzaro et l'application de l'hypothèse d'Avogadro à la détermination des poids atomiques et des poids moléculaires.* — Poids atomiques. Berzelius et Dumas.

Abandon des poids atomiques. Les équivalents de Wollaston et de Gmelin. Retour aux poids atomiques. Laurent et Gerhardt. Atome, molécule et équivalent. Diversité des symboles et des formules. L'œuvre de Cannizzaro.

Chapitre XIV. — *Petit et Dulong et la loi des chaleurs atomiques.* — Poids atomiques et propriétés physiques. Découverte de Dulong et Petit. Recherches de Regnault, de Kopp, de Weber. Les valeurs des chaleurs atomiques dépendent des conditions physiques. Recherches de Tilden. La loi est grossièrement approchée. Ses applications. Relation entre les chaleurs spécifiques du composé et des composants. Loi de Neumann. Loi de Kopp. Applications.

Chapitre XV. — *Mitscherlich et la relation entre la forme cristalline et la composition chimique.* — Résumé de cristallographie. Découverte et établissement de la loi. Berzelius, Mitscherlich, Tutton. Applications. Polymorphisme. Isodimorphisme, loi de Retger. Morphotropie.

Chapitre XVI. — *Mendeleeff et la loi périodique.* — L'adoption des poids atomiques fournit une base de classification des éléments. Principes. Doebereiner, Newland, Lothar Meyer, Mendeleeff ; base de sa classification, séries et groupes ; ses fondements expérimentaux. Applications de la loi de périodicité. Carnelley, Johnstone Stoney.

Chapitre XVII. — *Kékulé et la doctrine de la valence.* — Formules de composition, formules rationnelles, formules de structure. Valence constante et variable. Faits et théories. Kékulé, Van 't Hoff. Vues sur la nature électrique de la valence. Helmholtz, Lodge. Importance de la doctrine de la valence en chimie organique.

Chapitre XVIII. — *Berzelius et l'isomérisme.* — Les faits et les vues qu'ils suggèrent. Isomérisme, polymérisme, métamérisme. Allotropie. Les théories. Kolbe, Carius, Wislicenus. Asymétrie moléculaire. Pasteur, Le Bel, Van 't Hoff. Stéréochimie. Tautomérisme.

Chapitre XIX. — *Vues modernes sur la constitution de la matière et la genèse des éléments.* — Pour et contre l'hypothèse d'une matière unique. Proust, Th. Thomson, Berzelius. Stas, Marignac et Dumas. La divisibilité de l'atome élémentaire. Travaux de Crookes, expérience de Zeeman : La chimie des étoiles, vues de Lockyer. Les électrons et les corpuscules. La radio-activité ; désintégration et transmutation de la matière. Genèse des

éléments et structure de l'atome, J. J. Thomson, Crookes, etc. Situation actuelle de la théorie atomique.

L'exposé se clôt par une citation de Kékulé dont voici le sens. " La question : l'atome existe-t-il ou n'existe-t-il pas ? a peu d'importance au point de vue chimique ; elle s'adresse aux métaphysiciens. Tout ce qui nous importe en chimie, c'est que la conception de l'atome fournisse une hypothèse adaptée à l'interprétation des phénomènes, et que son développement aide à l'avancement de nos connaissances sur le mécanisme de ces phénomènes.

„ Je n'hésite pas à l'avouer : me plaçant au point de vue philosophique, je ne crois pas à l'existence de l'atome, le mot étant pris dans son sens littéral et signifiant une parcelle de matière indivisible. Je suis plutôt porté à penser qu'un jour viendra où à ce que nous appelons atome, on substituera une conception mécanique qui rendra compte du poids, de l'atomicité et des nombreuses propriétés que nous attribuons aujourd'hui à l'atome. Comme chimiste, cependant, je considère le recours à l'atome non seulement comme utile, mais comme absolument nécessaire en chimie. J'irai même plus loin, et je proclamerai ma foi en l'existence des *atomes chimiques*, en entendant par là les éléments de la matière qui, dans les transformations chimiques, restent indivisibles. D'ailleurs, tout progrès scientifique qui aboutirait à une théorie de la constitution des atomes chimiques — si importante qu'elle puisse être pour la philosophie générale de la matière — n'entraînerait que bien peu de changements dans la chimie elle-même. Les atomes chimiques resteront toujours les unités chimiques, et, dans les considérations purement chimiques, nous recourrons toujours à la structure atomique et aux simplifications qu'elle entraîne, en d'autres termes nous ne cesserons d'utiliser la théorie atomique. En résumé, nous pouvons dire avec Dumas et Faraday : que la constitution de la matière soit ou ne soit pas atomique, il est certain qu'elle nous apparaîtrait telle qu'elle nous apparaît si elle était atomique. „

Une table alphabétique des matières, très complète et très parlante, termine l'ouvrage.

J. T.

IX

Manuel pratique de l'Éclairage au gaz acétylène, par R. Robine, ingénieur-chimiste. Un vol. in-8° de 284 pages, avec 63 figures dans le texte. — Paris, Ch. Béranger, 1905.

L'éclairage au gaz acétylène a eu de pénibles débuts. Aujourd'hui on craint moins ses dangers, qu'écarte la prudence au service d'une installation bien faite, on apprécie davantage ses excellents services et on y recourt plus volontiers. Nombre de personnes sont donc intéressées à avoir sous la main un *guide pratique*, dégagé autant que possible de tout appareil savant, clairement écrit et mis à la portée du grand public, où elles trouveraient, avec tous les renseignements sur les conditions d'une installation soignée, ceux qui concernent la pratique courante et que réclameraient les cas difficiles ou embarrassants.

C'est ce *vade-mecum* que M. R. Robine leur offre dans son *Manuel pratique*. Ce titre marque bien le but poursuivi ; sa réalisation ne le fait point mentir.

Le plan adopté par l'auteur est très simple. Après un rapide aperçu sur l'éclairage sous toutes ses formes, il aborde l'étude du carbure de calcium, la matière première du gaz acétylène : il en raconte la découverte et en expose la fabrication. C'est le sujet de la première partie.

La seconde est consacrée au gaz acétylène : ses propriétés y sont exposées au point de vue pratique ; les appareils générateurs sont clairement décrits, sans prolixité ; les avantages et les inconvénients inhérents à chacun d'eux sont signalés ; enfin, l'épuration du gaz acétylène est traitée avec un soin particulier.

La troisième partie envisage les applications du gaz acétylène à l'éclairage public et privé : choix des appareils producteurs et épurateurs ; emplacement et entretien ; canalisation, appareils d'éclairage, mise en marche de l'installation, etc., exemples concrets et devis, rien n'y manque.

La quatrième partie rappelle la réglementation administrative concernant l'emploi de l'acétylène en France.

Enfin, la cinquième partie groupe un certain nombre de tableaux numériques utiles surtout aux techniciens.

Ces indications sommaires suffisent à montrer que c'est bien le côté pratique que l'auteur n'a cessé d'avoir en vue. C'est par

là que son livre se distingue de plusieurs autres, et c'est ce qui lui vaudra de nombreux lecteurs.

J. T.

X

Sylloge Algarum omnium hucusque cognitarum digessit Doct. J. Bapt. De Toni. Vol. IV, Florideae. Sect. IV, fam. I-VIII. Un vol. de 450 pages. — Patavii, typ. Seminarii.

Nous avons déjà attiré l'attention du lecteur de la Revue sur cet important ouvrage auquel le Dr De-Toni, directeur du Jardin botanique de Modène, a consacré une partie de sa vie scientifique. Cet ouvrage est le meilleur guide que puissent choisir les algologues, car il contient la description de toutes les algues actuellement connues, la bibliographie principale qui s'y rapporte et leur distribution de par le monde. Le fascicule que nous signalons aujourd'hui termine le volume IV ; il comprend les pages 1523 à 1973, ce qui suffirait seul à en marquer l'importance. Il est consacré aux algologues Piccone, Schmitz et Thuret, dont la science algologique regrette encore la perte.

Nous n'avons pas à énumérer ici les familles d'algues traitées dans ce fascicule, elles sont travaillées avec le même soin que les précédentes, et tous les botanistes se joindront à nous pour féliciter M. De Toni de poursuivre avec un zèle si éclairé un travail aussi ardu. Il lui a valu, et c'est justice, des encouragements précieux de la part de diverses sociétés savantes et en particulier de l'Académie des Sciences de Paris.

É. D. W.

XI

Muscinées de la France. *Deuxième partie.* Hépatiques, par M. l'abbé Boulay, docteur ès sciences et professeur de botanique à l'Université catholique de Lille. Un vol. grand in-8° de CLXVIII-224 pages, 1904. — Paris, Klincksiek.

La première partie des *Muscinées* de M. l'abbé Boulay avait paru en 1884. Elle concernait les *Mousses* et occupait un grand

in-8° compact de CLXXIV-624 pages décrivant 577 espèces réparties en familles, tribus, genres et sous-genres.

Dans la Préface de la seconde partie, l'auteur explique les motifs qui lui ont fait mettre vingt ans d'intervalle entre la publication des *Mousses* et celle des *Hépatiques* : en même temps que paraissait *Les Mousses*, voyaient le jour la *Sphagnologia europea* et l'*Hepaticologia gallica* de M. Husnot ; et M. Boulay ne voulait point paraître opposer à ces travaux de grande valeur et suffisants pour le moment, une concurrence quelconque. De plus on n'était pas d'accord, à cette époque, sur la classification et la nomenclature des Hépatiques. Pour ces deux motifs notre auteur délaissa provisoirement cette sous-classe des muscinées pour vaquer à d'autres recherches. Mais dès 1901 il se voua à la mise en œuvre des nombreux matériaux provenant soit de ses recherches personnelles, soit du zèle dévoué de ses correspondants. C'est ainsi qu'a paru, vers la fin de l'année 1904, le volume dont le titre figure en tête de la présente notice.

Il débute, comme le précédent, par une liste détaillée des documents bibliographiques et manuscrits consultés, qui ne remplit pas moins de douze pages. Suivent des développements et discussions concernant la morphologie et la physiologie des Hépatiques, d'abord en général, puis par application aux différents groupements de ces végétaux minuscules, avec les caractères distinctifs qui les séparent des Mousses, et la description des stations diverses de leur habitat (rochers siliceux, calcaires, secs, humides, terres sableuses ou calcaires, marécages, tourbières, écorce des arbres, souches pourries, région méditerranéenne, région sylvatile, etc.), avec indications pour la marche à suivre dans l'étude pratique de l'hépaticologie. Une clef dichotomique allant de la page XCIII à la page CXI que suit, jusqu'à la page CLXVIII, le tableau synoptique des groupes par cohortes, familles, tribus, genres et espèces, complètent ce que l'on peut considérer comme la partie préliminaire. C'est tout près de la moitié du volume.

L'autre moitié est affectée à la description des divers groupes et des espèces. Celles-ci, au nombre de 179, sont réparties très inégalement en trois *cohortes* dont la première, *Jongermaniniées*, en comprend, à elle seule, 139 ; la seconde, *Marchantinées*, 36 seulement, et la dernière, *Anthocerotinées*, 4.

Naturellement ces cohortes englobent plusieurs subdivisions.

Ainsi la première, comprenant une famille, se subdivise en deux sous-familles, *Jongermaniacées acrogynes* et *pleurogynes*.

Les 116 espèces des Jongermaniacées acrogynes se répartissent en 7 tribus, 32 genres et quelques sous-genres. Dans les pleurogynes, nous comptons 6 tribus et 9 genres.

La seconde cohorte comprend deux familles, celle des *Marchantiacées*, et celle des *Ricciacées*, la première se partageant en tribus et sous-tribus. Elles comprennent à elles deux 56 espèces se répartissant en 14 genres.

Reste la cohorte et famille des *Anthocerotinées* ou *Anthocérotacées*, dont les quatre espèces relèvent d'un seul genre et d'une seule tribu.

Il faut se reporter au savant ouvrage de M. l'abbé Boulay pour avoir la description détaillée des caractères spéciaux qui déterminent chaque cohorte, chaque famille, chaque tribu, sous-tribu, genre, sous-genre et espèce. Un tel travail ne saurait se résumer. Il suffit de le faire connaître à ceux qu'intéresse l'étude des végétaux cryptogamiques.

Pour que cette étude soit complète, il y faudra joindre celle des *Sphaignes* qui forme la troisième et dernière sous-classe des Muscinées. Il y sera pourvu ultérieurement par M. l'abbé Boulay en un troisième et dernier volume qu'il nous annonce dans sa préface.

C. de Kirwan.

XII

Les Jeux des Enfants, étude sur l'imagination créatrice chez l'enfant, par Frédéric Queyrat, professeur de philosophie au Collège de Mauriac. Un vol. in-18 de II-161 pages de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine*. — Paris, Félix Alcan, 1905.

M. Queyrat, déjà avantageusement connu par plusieurs études sur les enfants, vient de consacrer un petit volume à leurs jeux. Après avoir fait remarquer que, si le jeu peut souvent être considéré comme une *récréation*, c'est bien plutôt chez l'adulte que chez l'enfant, pour qui la vie semble être un jeu continuel.

L'explication du jeu *par excédent d'énergie*, explication due à Schiller et développée par Spencer, a des rapports avec la précédente, car l'enfant qui joue aux barres après les heures passées à l'étude ou en classe, en même temps qu'il dépense des forces

superflues, récupère des énergies perdues. On peut invoquer de nombreux faits à l'appui de cette explication ; mais elle ne vaut pas pour tous les jeux, sans compter que l'enfant joue encore alors qu'il est fatigué. De plus, cette explication ne justifierait qu'une expression aveugle de la gaieté, non les actes coordonnés qui constituent un jeu.

Aussi Spencer a-t-il complété la théorie de la *détente* par celle de l'*imitation de l'activité sérieuse*. Seulement Groos fait remarquer que souvent les jeux ne sont pas des *post-imitations*, mais des *pré-imitations* ; ces pré-exercices ont pour but de préparer le jeune être aux occupations ultérieures de la vie, et les enfants, comme les jeunes animaux, s'y livrent souvent sans avoir vu accomplir ces actes par d'autres, mais sous l'influence d'une impulsion spontanée et irrésistible. Pour Groos donc, " la raison des jeux de jeunesse est que certains instincts, particulièrement importants pour la conservation de l'espèce, se manifestent déjà à une époque où l'animal n'en a pas encore sérieusement besoin. En tant qu'opposés à l'exercice sérieux postérieur, ces jeux sont un pré-exercice et un entraînement des instincts en question (1). " Ajoutons que Groos ne méconnaît pas le rôle de l'imitation, dont l'instinct vient s'ajouter souvent à celui auquel répond spécialement chaque jeu.

Le jeu a comme accompagnement psychique le plaisir et l'illusion. Le premier résulte de la satisfaction même de l'instinct, de la joie d'être cause, de celle du succès, du sentiment de la liberté et enfin de l'illusion elle-même. Celle-ci peut être consciente et volontaire ou involontaire. Cette question de l'illusion est des plus curieuses à étudier, car il est très difficile de savoir jusqu'à quel point elle est réelle. Le plus souvent, l'enfant la crée volontairement, systématiquement, puis il s'y livre et en jouit; aussi n'aime-t-il pas tout ce qui peut la détruire, et c'est pour cela que souvent il est si mécontent de l'intrusion d'une grande personne, même pleine de bonne volonté.

Pas plus que dans l'art, dans le jeu l'illusion ne doit aboutir à une réelle confusion de l'apparence avec la réalité. Dans le jeu, c'est surtout le *sentiment de la liberté* qui donne au pseudo-monde où il se déroule une nuance particulière, s'opposant à une confusion véritable qui tomberait dans la pathologie.

Étudiant les classifications des jeux des enfants, M. Queyrat en montre deux possibles, l'une fondée sur leur *origine* et l'autre

(1) *Les Jeux des Animaux.*

sur leur *fonction éducative*. Au premier point de vue, on distingue les jeux d'hérédité, d'imitation et d'imagination. Ces derniers ont pour formes principales la métamorphose des choses, la vivification des joujoux, la création de jouets imaginaires, la transformation de la personnalité et enfin la mise en action des contes.

Au point de vue de la fonction éducative, les jeux comprennent ceux de mouvement, si supérieurs à la gymnastique, les jeux pour l'éducation des sens, ceux pour le développement de l'intelligence, les jeux émotionnels, les jeux pour la culture de la volonté, les jeux artistiques, le jeu pittoresque, parmi lesquels on distingue le jeu épique, les jeux architectoniques, les jeux d'imitation plastique, le jeu pictural et les jeux dramatiques.

Nous ne saurions évidemment entrer dans l'examen de tous ces jeux, pour lequel l'auteur recourt à ses observations personnelles en même temps qu'aux souvenirs de maint écrivain illustre. Il réserve d'ailleurs un chapitre spécial à la *poupée*, ce jeu universel. La poupée donne à la fois satisfaction à l'*instinct de maternité*, à celui d'*imitation* et enfin au *désir de jouer le rôle de cause*. Cette dernière source de plaisirs si vifs se manifeste sous diverses formes : tantôt l'enfant transforme sa poupée en un autre lui-même ; tantôt il en fait sa compagne de jeu ; tantôt enfin il prend plaisir à l'amuser.

Dans un chapitre final, M. Queyrat discute la valeur des diverses sortes de jouets : jeux de hasard, si peu dignes d'encouragement ; jouets moralisateurs, souvent ridicules et agaçant l'enfant ; jouets historiques, qui souvent faussent l'esprit ; jouets instructifs, qui courent risque d'être des *leçons* et non des joujoux ; automates, qui étonnent un moment l'enfant mais ne peuvent lui servir vraiment de jouets, parce qu'ils font obstacle à son pouvoir d'imaginer, de créer. Comme le disait Mme Necker de Saussure, l'enfant admire les copies trop exactes des choses réelles, mais elles subissent le sort de celles-ci qui le lassent bientôt. “ Son imagination est arrêtée par la forme trop précise de l'objet ; celui-ci ne représente qu'un seul modèle ; et comment se contenter d'un seul amusement ? „

Ce qu'il faut donner surtout à l'enfant, c'est l'occasion de jouer, en respectant sa spontanéité ; la non-intervention de l'adulte est une condition indispensable du développement de l'attention, en sorte que le principal rôle des parents est de veiller simplement à ce que le jeu ne prenne pas une mauvaise direction ou ne sorte pas de justes limites. Toutefois, s'il apparaît une cer-

taine paresse, on ne devra pas hésiter à aider les enfants à organiser leurs divertissements : il faut les encourager à les varier et à les perfectionner, car on ne doit abandonner l'enfant à lui-même que s'il montre une spontanéité suffisante.

G. Lechalas.

XIII

Allgemeine und spezielle wirtschaftgeographie, par Ern. Friedrich. Un vol. de 370 pages. — Leipzig, G. J. Göschen, 1904.

Le terme *Wirtschaftgeographie* a été introduit récemment pour désigner l'ensemble des connaissances géographiques qui intéressent plus spécialement le planteur, le commerçant et l'industriel. Si cette branche de la géographie n'a pas encore trouvé place dans l'enseignement, ou du moins si elle n'y occupe pas celle qu'elle mérite, c'est qu'on n'en a pas jusqu'ici formulé nettement les principes scientifiques. Il n'existe à notre connaissance, en langue française, aucun traité général sur cette matière; on trouve bien quelques traités spéciaux relatifs à la France ou à certaines de ses régions, mais aucun de ces ouvrages, de valeur incontestable, n'envisage la question au point de vue général. L'Allemagne possède, grâce à M. le Dr Friedrich, un traité qui est certainement appelé à un grand succès.

Comme son titre l'indique, le travail de M. le Prof. Friedrich se divise en deux parties : la géographie économique générale et la géographie économique spéciale. Dans la première, l'auteur examine successivement les facteurs économiques : hommes, animaux, plantes, puis les facteurs géographiques dont ils subissent les influences. Dans la deuxième partie, l'auteur applique ces considérations générales aux principaux pays des cinq parties du monde, en insistant sur les productions de ces pays, sur leur commerce, leur industrie, leurs rapports avec l'étranger. Il étudie la manière dont sont exploitées les richesses naturelles, minérales et végétales de ces pays. Il désigne cette exploitation par le terme *Raubwirtschaft*, difficile à rendre en français, mais pour lequel un auteur a proposé un équivalent qui rend assez bien la pensée des auteurs allemands, *rapt économique*.

Une table très complète permet au lecteur de retrouver facilement, dans ces 370 pages de texte serré, les observations émises

par l'auteur sur les divers produits. M. Friedrich avait publié antérieurement sur la *Raubwirtschaft* un article qui a fait sensation et qui mériterait d'être traduit et commenté en français, car il serait utile que les gouvernements sussent à quoi les conduit une exploitation irrationnelle des pays qui leur sont confiés.

Les cartes qui accompagnent le présent volume sont les premières du genre. Elles sont disposées en planisphère : la première représente ce que l'auteur a appelé *Wirtschaftstufen*, étages économiques, envisagés par rapport à l'homme ; récolte brute, récolte instinctive, récolte rationnelle ; cette dernière représentée seulement dans l'Europe centrale et subméridionale, certaines régions de l'Amérique du Nord, quelques portions de l'Amérique du Sud, au Cap et dans certains autres postes africains, dans certains postes de l'Asie, aux Indes Néerlandaises et enfin dans certaines régions de l'Australie.

La deuxième carte montre la distribution de quelques-unes des formes de la manifestation économique : récolte des plantes, pêche, culture, élevage, mines, industrie, richesse, commerce. Dans la troisième, l'auteur cherche à mettre en relief les zones économiques et, bien que l'espace lui eût fait défaut, il a essayé de présenter au lecteur un aperçu des voies de communication avec leur importance relative.

Le volume de M. Friedrich contient, comme on le voit, un ensemble de faits que l'on chercherait en vain dans un autre ouvrage. Si sur des points de détail la critique trouverait à s'exercer, si on a cru pouvoir émettre des doutes sur la valeur de certaines conclusions, il faut reconnaître que ce travail n'en constitue pas moins une œuvre fondamentale des plus utiles pour l'enseignement et pour la vulgarisation d'une science éminemment pratique. Il serait à désirer qu'une édition française pût permettre la diffusion chez nous de ces principes de géographie commerciale, qui devraient être la base de tout enseignement commercial et colonial.

É. D. W.

XIV

Le Vice solitaire, par le Dr Surbled. Un vol. in-16 de 224 pages. — Paris, Maloine, sans date.

Un tel livre, qui ne doit pas être mis sans discernement entre toutes les mains, s'adresse aux pères et aux mères de famille soucieux des bonnes mœurs et de la santé de leurs enfants. Il s'adresse aussi, hélas! aux malheureux qui, arrivés à l'âge adulte, sont les victimes volontaires de ce vice innommable que l'auteur désigne suffisamment par la qualification de " solitaire ".

On comprend, sans qu'il soit besoin d'en dire les raisons, que nous n'entrions pas ici dans les détails qu'aborde, avec sa double compétence de médecin et de moraliste chrétien, le docteur Surbled. Il nous suffira de dire que l'auteur expose tous les dangers d'ordre physique, moral et intellectuel qu'entraîne la pratique de ce vice abject, qu'il en indique les remèdes dont les principaux sont d'ailleurs l'énergie de la volonté appuyée et fortifiée par la prière.

L'auteur de la *Vie de jeune homme*, de la *Vie de jeune fille*, de l'*Amour sain* et de l'*Amour malade*, de la *Vie à deux*, de la *Vie affective*, était mieux qualifié que personne pour porter la sonde dans cette plaie purulente d'une partie de la faible humanité.

Traités par la plume d'un savant et d'un philosophe spiritualiste, toujours avec la gravité et l'austérité qu'ils réclament, de tels ouvrages sont appelés à faire du bien chez tout lecteur les abordant d'un cœur droit et d'un esprit sincère. Il arrive un moment, alors qu'à l'enfance a succédé l'adolescence et que l'heureux sommeil des sens fait place à leur éveil, où l'ignorance de certaines lois de la vie peut avoir — et a souvent — plus d'inconvénients, voire de dangers, que leur connaissance discrètement apportée par les soins prudents et éclairés des parents.

C'est pourquoi généralement les livres que nous venons d'énumérer, et spécialement celui qui fait l'objet principal de cette notice, ne sont destinés à la jeunesse que par l'intermédiaire de conseillers prudents et autorisés, c'est-à-dire du père et de la mère dans la plupart des cas.

C. DE KIRWAN.

XV

INSTITUTIONES METAPHYSICAE SPECIALIS, quas tradebat in Collegio Maximo Lovaniensi P. STANISLAUS DE BACKER, t. III, Psychologia, de Vita rationali. Un vol. in-8° de 288 pages. — Paris, Gabriel Beauchesne et Cie, 1904.

La Revue a déjà par deux fois signalé à ses lecteurs les qualités plus qu'ordinaires du Cours de Métaphysique de P. De Backer. Ce troisième volume est peut-être supérieur aux deux premiers. La perfection didactique en fait un manuel de tout premier ordre ; la doctrine péripatético-scolastique y est défendue dans sa noble et vigoureuse simplicité, sans hésitations et sans compromis, avec une netteté et une concision que les manuels du même genre ont quelquefois égalées, mais non dépassées. L'auteur écarte les questions vieillies ou inutiles pour s'en tenir aux grandes thèses fondamentales. L'argument se dégage sans effort des données bien éclaircies : rien de cette surcharge de raisons douteuses et boiteuses qui dans nombre de traités donne un air suspect aux théories les plus raisonnables, malencontreux plâtrage dont le moindre tort est de masquer les lignes correctes de l'édifice. L'agencement logique — état de la question, thèse, arguments, etc. — a perdu ce quelque chose d'exagéré et de trop élémentaire qu'il offre dans les deux premiers volumes ; mais la matière est distribuée et ordonnée en vue des besoins de l'élève. Il faut que celui-ci puisse se l'assimiler, sûrement, par parties, et ensuite découvrir sous leur multiplicité l'essence intime, les idées génératrices de tout le système. Une longue expérience a manifestement appris au P. De Backer qu'on n'y parvient qu'à force de méthode et de clarté. Les grands systèmes contemporains sont heureusement opposés à la vieille philosophie : celle-ci ne craint pas la comparaison, bien au contraire, l'examen contradictoire peut seul découvrir ce qu'elle contient en son fond, de jeunesse et de vitalité. Le P. De Backer excelle à montrer ce qu'elle est ou prétend être : une philosophie complète, parfaitement cohérente dans toutes ses parties, en stricte continuité avec les données premières, la seule qui fasse leur juste part aux deux grandes tendances de l'esprit humain, l'empiriste et l'idéaliste. Au reste, à peine est-il encore besoin d'apologie, depuis que des notions aussi vénérables que celles de mixte et de principe vital formel sont en train de devenir des nouveautés.

Mais il n'est de philosophie si parfaite qui ne soit toujours en voie de se faire, ni de philosophie ayant un droit reconnu à l'existence si ce n'est sous la double condition d'être vivante et conquérante. D'où nécessité d'unir le respect de la tradition et la discipline d'école à l'invention et à l'esprit de progrès. Le P. De Backer est soucieux d'un sage modernisme et son livre, malgré le vêtement latin, porte sans mentir le millésime 1904.

Beaucoup de parties sont riches de réflexions personnelles ; ainsi, par exemple, le premier chapitre *Cognitionis intellectualis summa et conspectus* attire tout de suite l'attention par son originalité de bon aloi. La pensée de l'auteur, formée à l'école d'Aristote, de saint Thomas et de Suarez, n'a pourtant rien perdu à prendre contact avec le kantisme et autres *erreurs* contemporaines, où l'on peut bien reprendre le sophisme, puisque sophisme il y a, mais qui ont quand même une " âme de vérité ". Grâce à cette fréquentation et aux réflexions qu'elle a provoquées, le P. De Backer a pu donner une forme achevée à plusieurs analyses très remarquables de la connaissance, du jugement, et de l'exercice de la volonté.

La première partie du livre est employée à prouver l'existence substantielle du moi et la transcendance de la connaissance intellectuelle. Un examen approfondi du criticisme et du sensisme s'imposait. Disons seulement que toute cette partie est une agréable compensation aux tristes rhapsodies qui encombrent la littérature latine contemporaine. L'auteur est allé aux sources et s'y est longtemps arrêté. L'exposition est loyale jusqu'au scrupule ; la réfutation que ne remplacent pas des injures, n'en est que plus impitoyable. Difficilement trouvera-t-on dans l'infinie bibliographie antikantiste quelque chose de décisif absent de ces quelques pages.

Quelques condamnations paraîtront trop sévères, celle par exemple qui frappe Condillac (p. 27). Le dernier chapitre, *De natura habituum*, n'a pas la valeur du reste. Il semble que l'auteur s'est arrêté, n'en pouvant plus, aux dernières lignes sur la liberté. Et sans nous attarder à de menues critiques qui seraient à peine à leur place dans une revue spéciale, faisons tout de suite un gros reproche. L'histoire de la philosophie est par trop négligée ; à part quelques citations, aucun détail d'érudition : ni hommes, ni doctrines, rien dans ce livre ne porte de date. Omission d'autant plus fâcheuse que l'ouvrage est destiné à des établissements où le plus souvent l'histoire de la philosophie n'est pas l'objet d'un cours spécial. Le P. De Backer dira qu'il a écrit une Psychologie, et rien que cela. D'accord, mais il est des tableaux qui gagnent à être encadrés. Peut-être l'auteur s'en remet-il aux maîtres du soin de suppléer ; espérons qu'il s'en trouvera beaucoup pour apprécier ces *Institutiones* et capables de les expliquer, car vraiment elles sont une belle et bonne contribution à l'œuvre bienfaisante de la néo-scolastique.

E. R.

XVI

Apologie scientifique de la Foi chrétienne, par Mgr Duilhé de Saint-Projet. *Nouvelle édition* entièrement refondue par M. l'Abbé J. B. Sanderens, docteur ès sciences et en philosophie, professeur à l'Institut catholique de Toulouse. Un vol. in-12 de 541 pages. — Paris, Poussielgue ; Toulouse, Édouard Privat.

Les lecteurs de la Revue des Questions scientifiques qui veulent bien en suivre la bibliographie n'ont peut-être pas perdu le souvenir d'un ouvrage qui, dès la fin de l'année 1896, était parvenu à sa quatrième édition, la première ayant paru (suivie presque aussitôt de la seconde) en 1886, et tiré à 17 000 exemplaires, rien qu'en pays de langue française ; il est aujourd'hui traduit en neuf langues étrangères (1).

Nous voulons parler de l'*Apologie scientifique de la Foi chrétienne* du regretté Mgr Duilhé de Saint-Projet, recteur des Facultés libres de Toulouse (2), qu'une cruelle maladie enleva à la cause de la Vérité au moment où paraissait la quatrième édition de son ouvrage, et peu de temps après son élévation à la dignité de prélat de Sa Sainteté.

Le temps marche, en notre époque, avec une singulière célérité. Dix années virent apporter bien des changements dans le cours des connaissances humaines. L'*Apologie* de Mgr Duilhé de Saint-Projet, excellente dans son fonds et dans la plupart de ses parties, avait vieilli quant à certains détails ; tels exposés venus à leur heure n'avaient plus aujourd'hui la même raison d'être ; enfin divers progrès accomplis dans les sciences cosmologiques exigeaient ici quelques remaniements, là quelques additions.

Il était important d'ailleurs de conserver la matière essentielle d'un travail qui avait obtenu un si remarquable succès et exercé par suite une si heureuse influence.

Or, ce que l'auteur eût assurément fait lui-même si Dieu nous

(1) Allemand, anglais, espagnol, italien, portugais, grec, polonais, tchèque, hongrois. Cf. la notice bibliographique de Mgr Duilhé de Saint-Projet, due à Mgr Batiffol, recteur actuel de l'Institut catholique de Toulouse, notice placée en tête de la *Nouvelle édition* dont nous rendons compte.

(2) Voir les livraisons de la Rev. des Quest. scient. de janvier 1886 et octobre 1891 pour la 1re et la 3e édition; janvier 1897, pour la quatrième.

l'avait conservé jusqu'à ce jour, un membre distingué du même Institut, M. l'abbé Sanderens, docteur ès sciences et docteur en philosophie, l'a fait en son lieu et place; et la " Nouvelle édition „ de l'*Apologie scientifique* nous offre aujourd'hui un ouvrage entièrement remanié quoique non augmenté quant au nombre des pages : il est, au contraire, à ce point de vue, quelque peu diminué, bien qu'ayant reçu, à côté de nombreuses suppressions, de non moins importants accroissements.

La première grande division, que Mgr Duilhé de Saint-Projet avait intitulée *Méthodologie*, a été réduite de six chapitres à trois ; et, dans le cours de ces derniers, plus d'un alinéa a été sacrifié. Tout ce qui se rapportait à l'exposé du mouvement des idées et des luttes d'écoles au moment où l'auteur écrivait, c'est-à-dire il y a dix ou douze ans, a pu être supprimé sans inconvénient, tout cela étant suffisamment connu du public qui s'intéresse à cet ordre d'idées.

La seconde division, *Cosmologie*, a été, également, sensiblement diminuée, ainsi que la quatrième, qui concerne l'*Anthropologie ;* la troisième, *Biologie*, l'a été un peu moins. Mais toutes ont reçu, d'autre part, de notables additions, et sont suivies d'une " Cinquième partie „ entièrement nouvelle, comprenant une réfutation du monisme, une " Conclusion générale „, et un " Appendice „ herméneutique, dû à M. l'abbé Maisonneuve, avec deux Notes consistant, l'une en un tableau composé de la cosmogonie mosaïque et de la cosmogonie moderne telle qu'elle résulte des théories aujourd'hui en vogue, l'autre en une démonstration sommaire du théorème de la conservation de l'énergie.

Le tout forme un fort in-12 de 541 pages, inférieur de 50 pages seulement à l'édition précédente.

Nous allons passer rapidement en revue cet ouvrage, en nous arrêtant un peu plus aux points les plus saillants et notamment aux additions dues à la plume de M. l'abbé Sanderens.

I. Il y a peu à dire de la " Première Partie „ fort réduite, comme on l'a vu plus haut, mais consacrée principalement aux conditions actuelles de l'apologétique en face des progrès de la science, et à la méthode d'exposition et de démonstration adoptée. Signalons toutefois, en passant, une très sage et encore opportune défense contre ces esprits timorés qui taxent de " regrettable concession „ toute modification aux opinions, anciennes mais libres, concernant les interprétations de certains faits ou de certains textes. Et l'auteur rappelle la violente et longue protestation qui s'éleva jadis lorsqu'on commença à

admettre que l'œuvre créatrice s'était accomplie en des durées beaucoup plus longues que six fois vingt-quatre heures (1).

II. Dans la " Seconde Partie ", qui a pour objet la *Cosmologie*, d'heureuses innovations sont à noter. C'est d'abord, au chapitre des systèmes pseudo-scientifiques sur l'origine et la formation de l'univers, un exposé, avec réfutation due à des savants comme Hirn et Clausius, de l'*Universum perpetuum mobile* de Hæckel. Il va sans dire que le professeur matérialiste d'Iéna ne se rend point aux considérations pourtant inéluctables du mathématicien alsacien et du physicien allemand ; car, comme le dit en toute justesse M. Sanderens, " dès qu'une théorie est en opposition avec son système, cela suffit : Hæckel la déclare inadmissible alors même qu'elle serait mathématiquement démontrée " (2).

En traitant de la prière et du miracle, M. Sanderens a ajouté au texte de Mgr Duilhé de Saint-Projet, un important paragraphe pour répondre à l'objection contre le miracle que les monistes tirent de la loi de la conservation de l'énergie. A ce sujet l'auteur expose sur la nature, l'essence du fait miraculeux, deux théories dont il n'accepte qu'une. Pour lui, le miracle est une *dérogation* aux lois naturelles. Or s'il existe, en dehors du cosmos, une source différente d'énergie, rien ne répugne à ce que celle-ci puisse modifier l'énergie cosmique " et amener des *dérogations* plus ou moins profondes aux lois naturelles " (3). Mais il n'admet pas la théorie d'après laquelle la même cause qui a produit l'univers avec toute l'énergie qu'il renferme a pu, et cela *à fortiori*, préparer en même temps les transmutations d'énergie expliquant la possibilité des miracles. D'après M. Sanderens, pour qu'un fait soit véritablement miraculeux il faut, non pas seulement qu'il échappe aux prévisions de la science, mais qu'il soit en contradiction avec elle, de manière à ce que s'impose la nécessité de l'intervention d'un agent supérieur à la nature et qui la dirige à son gré (4).

Nous ne nous permettrions pas de discuter ces données qui passeraient la compétence d'un écrivain non théologien. Nous nous risquerions toutefois à remplacer, dans la définition, le mot *dérogation* par *direction*, et à voir, dans le miracle bien moins

(1) *Apologie scientifique*, Nouvelle édition, pp. 53 et 54.
(2) *Loc. cit.*, p. 95.
(3) *Ibid.*, p. 103.
(4) *Ibid.*, p. 108.

une dérogation qu'une direction des lois naturelles supérieure à celles-ci et différente de la direction habituelle ? Nous dirions alors : S'il existe, en dehors du cosmos, une source différente d'énergie, rien ne répugne à ce que celle-ci puisse modifier l'énergie cosmique et amener des directions plus ou moins profondément différentes aux lois naturelles.

Étant donné, comme l'admettent tous les penseurs spiritualistes, que chaque miracle qui se réalise dans le temps est prévu de Dieu dès les profondeurs de l'éternité, et qu'Il a ainsi réglé d'avance tout ce qui les concerne simultanément avec le règlement de la marche de tout le cosmos, ne semble-t-il pas y avoir une anomalie à ce que Dieu déroge aux lois qu'Il a faites, alors qu'Il a au contraire réglé ainsi la marche des choses. Aussi est-ce avec pleine et entière conviction que nous nous approprierons cette belle parole d'Euler, citée par M. Sanderens :

" Quand un fidèle adresse à Dieu une prière digne d'être exaucée, il ne faut pas s'imaginer que cette prière ne parvient qu'à présent à la connaissance de Dieu. Il l'a entendue de toute éternité, et Il a arrangé exprès le monde en faveur de cette prière, en sorte que l'accomplissement fût une suite du cours naturel des événements (1). „

III. La *Biologie*, l'origine et le développement de la vie, tel est le sujet de la " Troisième Partie „. Sans entrer dans le détail de toutes les questions qui y sont traitées, nous nous arrêterons pendant quelques instants sur celle de l'évolution transformiste qui est abondamment et largement développée.

On a reproché récemment à l'*Apologie scientifique* d'avoir fait argument, dans l'étude de cette question, des expériences de Schmannkewitsch sur l'*Artemia Salina* (2) qu'il aurait transformée en *Artemia Milhausenii* et réciproquement, et même en *Branchipus*, genre différent, en variant la salure de l'eau dans laquelle il élevait ces crustacés.

Les conclusions tirées des expérimentations de Schmannkewitsch ayant été réfutées par M. Y. Delage dans son grand ouvrage sur l'*Hérédité et les grands problèmes de la biologie générale*, on reproche à M. Sanderens de n'en avoir pas tenu compte dans sa nouvelle édition de l'*Apologie*. Ces expériences, en effet, n'auraient produit que de simples variétés et seulement

(1) *Loc. cit.*, pp. 112 et 113.
(2) Cosmos du 19 novembre 1904, pp. 649 et 650 (art. signé : A. Fanton).

chez les femelles : et l'on n'a observé nulle part ces changements dans la nature et sans le concours de l'homme.

Le reproche peut être fondé en fait, mais il nous paraît appliqué mal à propos. L'exemple de l'*Artemia* est donné dans un paragraphe où l'on énumère tous les arguments que peuvent faire valoir les évolutionnistes, le paragraphe suivant développant les arguments contraires. L'emploi de cet exemple a donc beaucoup moins d'importance qu'il n'en aurait sous la plume d'un évolutionniste plaidant *pro domo sua*. D'ailleurs, l'*Hérédité* de M. Y. Delage est un ouvrage cher et qui n'est pas tellement répandu que tout le monde ait pu en prendre aisément connaissance.

Les considérations pour et contre la théorie évolutionniste telle qu'un spiritualiste théiste peut l'admettre sont exposées par feu Mgr Duilhé de Saint-Projet avec une impartialité absolue. On ne fait même nulle difficulté de reconnaître que l'idée dont cette théorie est née a eu des partisans parmi plus d'un des docteurs de la brillante période de la scolastique. Les arguments qui militeraient au contraire contre les théories évolutionnistes sont exposés avec non moins d'impartialité. De toute cette discussion il résulte que les considérations d'ordre général paraîtraient plutôt favorables au système, tandis que celles des faits particuliers et des détails lui seraient plutôt contraires. Quant aux objections *à priori* tirées soit des textes sacrés, soit de considérations d'ordre métaphysique, il a suffi aux auteurs de quelques lignes pour en avoir raison, la question de l'homme étant réservée, bien entendu.

IV. Dans la " Quatrième Partie ", affectée à l'*Anthropologie*, M. Sanderens a opéré de nombreuses coupures et a, par contre, introduit une forte part de questions nouvelles ou du moins citées d'une manière nouvelle. Telle une dissertation sur les fameux prétendus anthropopithèques *Bourgeoisii*, *Ramesii* et *Ribeiroii*, de feu G. de Mortillet ; sur le non moins célèbre dryopithèque remis à son rang très inférieur par M. Gaudry, et sur le soi-disant *pithecanthropus erectus* de Trinil ou Tranil, à Java. En traitant ce sujet, M. Sanderens est amené à citer un important passage de Quatrefages démontrant l'impossibilité physiologique de la descendance animale de l'homme par le singe, le singe étant, comme l'a reconnu l'évolutionniste-matérialiste Carl Vogt, un animal *grimpeur*, dont ne saurait descendre, d'après la loi de caractérisation permanente, un animal *marcheur* comme est l'homme. " Carl Vogt, dit Quatrefages, n'hésite pas

à déclarer que les singes les plus inférieurs ont dépassé le jalon (ancêtre commun) d'où sont sortis en divergeant les différents types de cette famille (1). „ Ainsi, de l'aveu même d'une des sommités de l'école matérialiste, il faut rejeter l'origine de l'homme au delà du singe le plus inférieur, si l'on veut conserver, comme dit Quatrefages, " une des lois les plus impérieusement nécessaires de l'édifice darwiniste „. Et comme les mammifères immédiatement inférieurs aux derniers singes, les prosimiens, sont aussi des animaux grimpeurs, il faut descendre jusqu'aux marsupiaux, à la Sarigue, au Kangourou. Mais ni dans la nature vivante, ni parmi les fossiles on ne trouve trace des types intermédiaires qui devraient établir la chaîne allant du marsupial à l'homme.

Signalons aussi une réfutation complète des théories matérialistes sur la " genèse de la pensée „, qu'accompagne un exposé lumineux de la vraie doctrine sur la matière. On reconnaît le philosophe qui, en M. Sanderens, double le savant chimiste.

Suit un chapitre tout entier du même auteur sur l'instinct, ses caractères, son origine, dans lequel est démontrée la différence essentielle, fondamentale, qui sépare l'intelligence de l'homme de la soi-disant intelligence des animaux. Nous disons *soi-disant*, parce que, sur ce point, nous serions en légère divergence avec le savant écrivain : il est vrai que cette divergence porte plutôt sur les mots que sur les idées. Il est clair, en effet, qu'en attribuant à l'animal une certaine intelligence, M. l'abbé Sanderens entend celle-ci comme essentiellement sensitive, et exclusive de toute abstraction, de toute généralisation, de toute notion, si rudimentaire qu'on la suppose, de l'universel. Mais cette connaissance purement sensitive, qui ne s'applique qu'au particulier et au concret, mérite-t-elle vraiment la qualification d'intelligence ? Saint Thomas a appelé, croyons-nous, *estimative*, et Leibniz *consécution empirique*, cette faculté de connaissance à l'aide de laquelle, par exemple, le castor modifie suivant la disposition des lieux, la forme de ses constructions, ou le gibier poursuivi fait des feintes pour dépister les chiens. En de pareils faits, il y a certainement quelque chose de plus que l'instinct pur et simple, mais ce quelque chose ne saurait s'élever jusqu'à la véritable intelligence.

En traitant de l'origine de l'homme, M. Sanderens a donné en un petit nombre de pages tout un traité sommaire d'archéologie

(1) *Loc. cit.*, p. 241.

préhistorique dans lequel sont réduites à leur piètre valeur les antiquités fabuleuses attribuées à l'âge de l'homme par les Mortillet, les Zaborowski et autres savants faisant de la science non pour elle-même mais dans un but intéressé.

Suit un chapitre tout entier nouveau sur l'unité de l'espèce humaine, dans lequel sont mises largement à profit les judicieuses observations de Quatrefages et celles de notre regretté collaborateur et ami, le Marquis de Nadaillac.

Le chapitre concernant la question du déluge est à peu près tel que l'avait donné le premier auteur, sauf la suppression d'une page concluant à tenir pour plus sûre l'interprétation traditionnelle tout en déclarant licite l'interprétation nouvelle, et l'addition d'un alinéa donnant l'opinion du P. Hummelauer et du Cardinal Meignan (1).

V. Il nous reste à parler de la " Cinquième Partie „ de la nouvelle édition de l'*Apologie,* partie entièrement inédite et qui a pour objet la matérialiste théorie hæckélienne du Monisme et sa victorieuse réfutation.

Indépendamment du postulatum sophistique qui fait la base de la théorie — à savoir la nécessité d'en admettre le principe, nonobstant toute démonstration et preuve contraire, pour ne pas être acculé à la nécessité d'une cause surnaturelle — le monisme fait grand état, à l'appui de sa thèse, du principe de la conservation de l'énergie.

A ces prétentions de rêveurs dévoyés, M. Sanderens oppose la thèse de la vraie science, telle qu'elle est soutenue " par un chimiste qui compte parmi les premiers de notre époque „ (2). Il

(1) Nous serait-il permis de contester une assertion du regretté premier recteur de l'Institut catholique de Toulouse, reproduite par son continuateur?

A l'occasion des débats qui furent soulevés lorsque l'abbé Motais eut publié son *Déluge biblique devant la Foi, l'Écriture et la Science* (1885) où il combattait l'universalité ethnique du célèbre cataclysme, on lit, page 361 : " Une discussion savante et *sereine* s'est engagée sur cette question. Plusieurs écrivains catholiques, exégètes ou théologiens, y ont pris part; elle n'est pas encore fermée. „ La discussion fut assurément " sereine „ de la part de plusieurs des écrivains qui y prirent part, non pas de tous. La polémique de quelques-uns fut assez acerbe pour avoir profondément contristé le pieux abbé Motais. Il mourut sur les entrefaites; et comme il était depuis longtemps atteint d'une affection cardiaque, on croit que le chagrin violent qu'il ressentit des attaques dont il était l'objet ne fut pas étranger à sa mort.

(2) *Loc. cit.*, p. 416.

montre, d'après les travaux et les écrits de M. A. Bertrand, qu'un double principe est nécessaire pour expliquer les opérations vitales et psychiques, et que, à ramener la totalité des phénomènes au seul et unique principe de la conservation de l'énergie, c'est-à-dire, en fait, à la matière seule, on se heurte à une impossibilité absolue, puisque ce principe n'intervient pas et ne saurait intervenir dans la multitude des réalités immatérielles constatées par l'observation.

La place nous manque pour analyser comme il conviendrait ces deux chapitres et faire ressortir les clartés sans ombre que leur lecture laisse dans l'esprit. La conclusion générale qui suit et qui ressort d'ailleurs d'elle-même, c'est l'éclatante manifestation d'une vérité dont l'énoncé sert d'épigraphe à ce recueil : *Nulla unquam inter fidem et rationem vera dissensio esse potest.*

Si nous pouvions émettre ici l'expression d'un regret ou plutôt d'une crainte, ce serait que, à force de vouloir dégager sa nouvelle édition de tout ce qui pouvait paraître, dans les précédentes, avoir un peu vieilli, M. Sanderens ne l'ait privée de plus d'un exposé encore utile aujourd'hui. Plusieurs des renvois de bas de page supprimés auraient pu, nous semble-t-il, être maintenus ; et l'omission, dans le texte principal, de l'histoire de Marthe Obrecht, cette malheureuse enfant née sourde, muette et aveugle, et dont l'intelligence a été ouverte à toutes les vérités abstraites essentielles par la seule éducation du sens du toucher, cette omission me paraît regrettable. C'est là, avec plusieurs exemples analogues (1), la réalité de l'âme humaine pour ainsi dire prise sur le fait.

Cet oubli sera aisément réparable dans une édition subséquente ; car le succès constant de cette *Apologie* laisse tout espoir de le voir se perpétuer.

C. de Kirwan.

(1) Voici, à ce sujet, le très intéressant travail de M. Lechalas sur *Les Sourdes-Aveugles*, dans la livraison de janvier 1905 de la Revue des Questions scientifiques.

REVUE

DES RECUEILS PÉRIODIQUES

GÉOLOGIE

Les éruptions volcaniques et la pluie. — On sait que la notion du feu central ne manque pas d'adversaires, et que contre cette doctrine, si simple et si féconde, beaucoup se sont acharnés à multiplier les objections, comme s'ils se sentaient gênés par une conception qui implique en elle-même l'idée de commencement et celle de fin.

Même parmi ceux qui consentent à admettre le feu central, il en est du moins qui veulent absolument soumettre ses manifestations à l'influence de causes purement extérieures. C'est ainsi que, pour beaucoup, la cause des éruptions volcaniques serait la pénétration, dans les foyers éruptifs, soit de l'eau des mers, soit de celle des pluies. C'est ce qu'admettait sans réserve l'Américain James Dana. Dans sa description du célèbre volcan d'Hawaïi, remarquant que le lac de lave de Kilauea, situé à 1200 mètres d'altitude, n'est jamais agité par des projections, tandis que, dans les éruptions du cratère culminant, à 4000 mètres, il se produit des bouillonnements, sous forme de fontaines de lave, jaillissant jusqu'à plus de 100 mètres de hauteur, il ne craignait pas d'attribuer cette circonstance à l'action de la fonte des neiges, qui parfois visitent la cime du Mauna-Loa. Plus récemment, en 1900, M. de Lorenzo (1) justifiait l'activité spéciale que manifestait alors le Vésuve par l'influence des pluies tombant sur le volcan et filtrant à travers ses fissures jusqu'au

1) Rendiconti della R. Accad. delle scienze di Napoli, 1900.

contact de la lave incandescente. De son côté, M. Semmola (1) se contentait d'invoquer l'action produite par la circulation des eaux souterraines.

M. Riccò, le savant directeur de l'Observatoire de Catane, a procédé à d'intéressantes observations, lors de la grande éruption qui s'est produite en 1892 à l'Etna et qui a embrassé une durée de six mois (2). En notant avec soin les phases de cette éruption, suivant qu'elle était croissante, stationnaire ou décroissante, et en mettant ces circonstances en regard des quantités de pluie tombées dans les mêmes intervalles, M. Riccò a constaté qu'à la suite de la pluie, il y avait autant de cas de décroissance que de cas de croissance de l'activité ; que dans les deux jours qui suivaient la chute de pluie, les cas d'état stationnaire se montraient nettement prédominants ; enfin que la pluie extraordinaire du 14 décembre, qui avait atteint 75 millimètres (alors que la moyenne est 25), avait laissé stationnaire une activité qui, de plus, était entrée en décroissance pendant les deux jours suivants.

M. Riccò a voulu rendre son enquête plus complète en l'appliquant à l'histoire de l'Etna depuis les temps les plus reculés. On connaît, de ce volcan, 138 éruptions, dont 69 de date bien certaine, lesquelles sont postérieures à 1169. De ces 69, il en est 62 pour lesquelles le mois du paroxysme est connu. Or, 13 seulement ont eu lieu en hiver, qui à Catane est l'époque des plus grandes pluies. L'éruption de 1819 a été en retard de deux ans sur l'année pluvieuse de 1817, et trois années de maximum de pluies, 1820, 1823 et 1826, ont précédé, la dernière encore à six ans de distance, le paroxysme de 1832.

Ces résultats sont significatifs. Mais n'y aurait-il pas une relation inverse, et les éruptions ne pourraient-elles pas provoquer une recrudescence des pluies ? A cette question, les statistiques de M. Riccò opposent une réponse négative, et l'auteur résume ses études dans cette proposition : " Les pluies ne déterminent pas les éruptions de l'Etna, et celles-ci à leur tour sont sans influence sur les pluies. „

De ce résultat, il convient de rapprocher les observations faites à la Martinique et consignées dans le grand ouvrage de M. Lacroix (3). L'éruption désastreuse de 1902 a coïncidé avec

(1) Rendiconti della R. Accad. delle scienze di Napoli, 1900, 1901.
(2) Accad. Gioenia di Catania, XVII.
(3) *La Montagne Pelée et ses éruptions.* Paris, Masson, 1904.

une année où la pluie était en déficit de 183 millimètres sur la moyenne (2086 au lieu de 2269) ; et, ce qui est plus significatif encore, l'éruption ayant eu lieu au commencement de mai, les quatre premiers mois n'avaient donné ensemble que 243 millimètres d'eau, tandis que, depuis dix ans, la moyenne de cette période avait été de 422. Prétendrait-on que ces quatre mois ont été nécessaires pour permettre la concentration, dans les profondeurs, d'un excès d'eau qui serait antérieurement tombé ? Ici encore la statistique répond. La moyenne annuelle décennale étant, comme nous l'avons dit, de 2269 millimètres, il n'en était tombé que 1941 en 1901 et 1885 en 1900.

Ce n'est pas tout. Depuis un temps immémorial, le fond de l'ancien cratère était si bien dépourvu d'eau qu'il portait dans le pays le nom caractéristique d'*Étang sec*. Sa condition n'avait été en rien changée par les grandes pluies de l'année 1895, où le total de l'eau tombée avait atteint 3689 millimètres. Or, à la fin d'avril 1902, c'est-à-dire au moment précis où le déficit des pluies atteignait son apogée, on constatait qu'il venait de se former au fond du cratère un lac de 200 mètres sur 400, alimenté par des cascades accompagnées de dégagements de vapeurs. Et on s'assurait que l'eau, évidemment amenée de l'intérieur, conservait une température de plus de 40 degrés, étant d'ailleurs assez chargée de cendres pour que sa surface eût l'aspect du plomb fondu. Cela ne donne-t-il pas une grande probabilité à l'idée, émise par M. Ed. Suess, que loin de consommer, pour la vaporiser, l'eau des couches externes du sol, les volcans apportent avec eux, de l'intérieur, des masses de vapeur d'eau qui, en se condensant, augmentent la provision des eaux courantes et du réservoir maritime ?

La production du quartz dans les roches éruptives. — Au nombre des résultats les plus importants qu'ait obtenus la mission scientifique envoyée aux Antilles par l'Académie des Sciences de Paris, il convient de ranger l'observation, faite par M. Lacroix (1), de roches *quartzifères* parmi les blocs provenant de l'intumescence ou *cumulo-volcan* qui a rempli, à partir de 1902, l'ancienne cavité cratériforme de la Montagne Pelée.

Tous les matériaux de cet amas sont constitués par une *andésite*, de composition globale très constante, à 62 % de silice, et

(1) *La Montagne Pelée et ses éruptions*. Paris, 1904.

formée d'une pâte où se sont développés partout des cristaux de feldspath plagioclase ainsi que d'hypersthène.

Mais la pâte elle-même diffère grandement selon la provenance des blocs. Ceux qui proviennent de la carapace extérieure, rapidement solidifiée, de l'intumescence en voie de formation, ont une pâte en grande partie vitreuse, de la nature de l'obsidienne on de la ponce. Il n'en est plus ainsi pour les blocs qui dérivent de l'écroulement de l'aignille si curieuse qui, à partir du 3 novembre 1902, s'est formée au sommet de l'amas, qu'elle a fini, à certains moments, par dépasser de plus de 300 mètres. Cette aiguille résultait de l'extrusion, à travers un point faible de la carapace, d'une masse pâteuse, en partie consolidée, et poussée au dehors après être restée emprisonnée sous le sommet du dôme, au milieu d'une masse de gaz et de vapeurs en pression, comme l'attestent les *nuées ardentes* qui, à tant de reprises, sont sorties du dôme pour aller foudroyer quelque point du voisinage.

Or, dans ces blocs, la pâte vitreuse a presque entièrement disparu pour faire place à une pâte à peu près entièrement cristalline, où abondent les *grains microscopiques de quartz*. Ce minéral s'est donc formé, par dévitrification de la pâte siliceuse, sous l'influence des vapeurs emprisonnées. C'est une variante, à haute température, des expériences classiques par lesquelles Sénarmont, Daubrée et Friedel ont obtenu des cristaux de quartz, en faisant agir la vapeur d'eau comprimée sur des silicates tels que le verre.

Cette observation capitale de M. Lacroix est destinée à jeter un grand jour sur la genèse des roches quartzifères en général. On était justement frappé, en étudiant ces roches, de constater que la fusion ignée semblait n'y avoir joué aucun rôle, et que le quartz avait tous les caractères d'un minéral produit par voie humide. C'est ainsi que toujours on pouvait s'assurer que la consolidation du quartz avait suivi celle de tous les autres minéraux, bien que ceux-ci fussent notablement plus fusibles ; de sorte que l'ordre de séparation des éléments était inverse de l'ordre de fusibilité.

Cependant, certaines rhyolites quartzifères se présentaient en coulées incontestables, se reliant sans doute possible à des centres éruptifs de date peu ancienne. Leur origine ignée ne pouvait donc être mise en doute.

Le mystère est maintenant éclairci. Ce sont les vapeurs sous pression qui déterminent le mode de consolidation d'une pâte,

au sein de laquelle la cristallisation ignée a déjà produit le feldspath et l'hypersthène. Et pourvu que l'influence de ces vapeurs ait quelque temps pour s'exercer, cela suffit pour engendrer du quartz. Or, si la pression qui règne au sommet d'un dôme d'intumescence est assez forte pour produire ce résultat, n'est-il pas clair qu'une pression plus considérable et plus longtemps prolongée devra amener, même dans des roches ignées, la formation du quartz dans les parties profondes du magma ? Ainsi s'expliquerait le quartz des granites.

La durée de la Tethys. — Aussitôt que les progrès de l'exploration géologique de l'Asie ont permis de dresser une synthèse provisoire de nos connaissances, on a été frappé de voir que, au moins depuis le début des temps secondaires, c'est-à dire depuis le trias, ce qui forme aujourd'hui les chaînes gigantesques du Karakoroum et de l'Himalaya avait été, jusqu'au tertiaire, occupé par une mer, prolongeant à l'est notre Méditerranée actuelle. Neumayr lui avait donné le nom de *Méditerranée centrale,* et M. Suess l'a caractérisée du nom de *Tethys.* Enfin c'est pour cette mer transversale, séparant deux unités stables du vieux monde, le plateau sibérien au nord et le plateau indien au sud (continents de l'*Angara* et de *Gondwana* de M. Suess), que M. Douvillé a employé le nom de *Mésogée,* en montrant qu'elle avait eu constamment le privilège des constructions des chamacés, des rudistes, des orbitoïdes et des nummulites.

Chaque jour précise nos connaissances au sujet de la Tethys, en même temps que son ancienneté s'affirme de plus en plus. La découverte du cambrien fossilifère au Spiti, dans l'Himalaya, comme au Yun-nan, où la faune à *Olenellus* vient d'être récemment trouvée (1) ; les gisements siluriens, dévoniens et carbonifériens, reconnus tant au Spiti qu'en Birmanie et sur la frontière du Tonkin, ne laissent guère de doutes à cet égard.

D'autre part, le chenal himalayen devait être encore bien marqué à la fin des temps jurassiques. En effet, au Spiti, on a recueilli, dans des schistes noirs, une faune d'ammonites, étroitement alliée à celle de l'Europe, et indiquant la zone dite de Berrias, c'est-à-dire le passage du jurassique au crétacique. Mais on pouvait se demander si cette formation allait plus loin dans la direction de l'est. Or, tout récemment, ainsi qu'en fait

(1) Mansuy et Douvillé, Comptes rendus, 6 mars 1905.

foi le *Blue book* anglais, M. Hayden, qui accompagnait l'expédition dirigée vers Lhassa, a reconnu que les ammonites de Spiti se retrouvaient entre cette ville et la chaîne himalayenne, à 1500 kilomètres à l'est du Spiti. Mais, ce qui est encore plus décisif, M. G. Boehm a retrouvé les mêmes ammonites dans le groupe des Moluques (1), et il signale également leur présence en Nouvelle-Guinée.

Ainsi, à l'aurore des temps crétacés, une communication ininterrompue existait entre les mers de l'Europe et le Pacifique. Cette communication maritime se produisait juste à l'endroit où s'élèvent aujourd'hui les hautes chaînes asiatiques. Enfin le débouché dans le Pacifique, au lieu de se faire, comme le croyait Neumayr, par le détroit de la Sonde, en respectant une île sino-australienne, passait justement à travers cette île prétendue.

La persistance de la mer arctique. — S'il est un fait que le progrès des observations géologiques dans la zone arctique ait bien mis en lumière, c'est l'existence, dès les premiers âges de l'écorce stratifiée, d'une mer couvrant la région du Pôle nord.

Ce résultat ressortait déjà des constatations faites par l'infortuné Von Toll, dans son premier voyage aux bouches de la Lena et aux îles de la Nouvelle-Sibérie : et on sait maintenant qu'au cours de cette seconde expédition, d'où il ne devait pas revenir, il avait découvert, dans ce dernier archipel, le cambrien fossilifère. On avait bien signalé aussi des couches cambriennes dans le nord du Groenland ; mais les observations étaient éparses et avaient besoin d'être contrôlées. La campagne du *Fram*, sous la direction de Sverdrup, a levé toutes ces incertitudes.

On sait maintenant, grâce à un résumé sommaire donné par le géologue de l'expédition, M. Schei (2), que, dans l'ouest de la Terre d'Ellesmere, il existe, appuyée contre les schistes cristallins, toute une série de sédiments fossilifères, comprenant le cambrien, tous les étages du silurien, le dévonien, notamment le dévonien supérieur, avec des plantes fossiles absolument identiques à celles des psammites du Condroz, puis le carboniférien supérieur, enfin le trias, représenté par des ammonites. Or, le trias marin, récemment trouvé dans l'Alaska, avait été déjà reconnu dans le bassin du Mackenzie, au Canada, où il contient des ammonites identiques avec celles que la même formation

(1) Palæontographica, Suppl. IV (1904).
(2) Geographical Journal, XXII, p. 60.

renferme au Mont Misery, dans l'île des Ours (1). Tous ces jalons intermédiaires attestent donc la persistance d'une mer arctique, qui subissait seulement quelques vicissitudes, par exemple, à l'époque du carbonifèrien inférieur, où elle était momentanément très réduite.

D'un autre côté, les découvertes des expéditions Jackson et Nansen à la Terre François-Joseph, jointes à celles de la mission Nathorst au Groenland oriental, ont fait connaître la présence, en ces points, de couches jurassiques fossilifères, échelonnées depuis l'étage bajocien jusqu'au portlandien tout à fait supérieur.

Ainsi, pendant une longue suite de siècles, la contrée arctique a été couverte par une mer qu'habitaient des animaux tout à fait semblables à ceux des régions beaucoup plus méridionales, et où se développaient des plantes identiques avec celles de nos contrées à la même époque.

Les progrès de la géologie africaine. — Il y a quelques années, en dehors de l'Algérie et de l'Égypte, on peut dire que l'Afrique était, au point de vue géologique, une *terra ignota*. Ce continent semblait avoir été aussi impénétrable aux mers anciennes qu'il l'était encore pour les explorateurs, et beaucoup se croyaient autorisés à le considérer comme l'unité la plus constamment invariable parmi celles qui constituent le domaine de la terre ferme. A part un golfe, que la mer crétacée et celle du tertiaire inférieur auraient envoyé en Libye, partout ailleurs les rivages des mers géologiques n'auraient pu être cherchés qu'au large de cette masse africaine, si habile à défendre son intégrité.

Ce fut un grand changement apporté à cette manière de voir lorsque le signataire de ces lignes, ayant eu la bonne fortune de prendre connaissance d'un morceau de pierre, autrefois recueilli par le colonel Monteil en plein Sahara oriental, à Bilma au nord du lac Tchad, y reconnut un oursin fossile, que les paléontologistes attribuèrent sans hésitation à un genre récemment créé pour le crétacé supérieur du Baloutchistan.

Cette découverte stimula le zèle des officiers français du Soudan ; et bientôt l'un d'eux, le capitaine Gaden, apportait en Europe une ammonite crétacée, d'âge turonien, recueillie au Damerghou, ainsi qu'un lot de fossiles, notamment d'oursins,

(1) J. Böhm, Zeit. d. deutschen geol. Ges., 1904.

ramassés autour de Tamaské, entre le Tchad et le Niger, et qui établissaient l'existence, dans ces parages, de l'étage *lutétien* (celui qui correspond au *bruxellien* et au *laekenien* des géologues belges).

Peu de temps après, M. Oppenheim décrivait quelques fossiles du même âge, recueillis au Cameroun, et, dans la même région, M. Esch recueillait, sur les bords du fleuve Mungo, toute une série d'ammonites. L'étude de ces dernières, faite par M. Solger (1), vient de prouver qu'il s'agissait de types crétacés, en majeure partie turoniens, et très analogues aux formes de l'Inde, de l'Égypte et de la Tunisie.

En même temps se poursuivaient, par les soins d'une commission internationale d'officiers anglais et français, les travaux de délimitation de la frontière du Sokoto, qui précisément passe par Tamaské. Quelques fossiles de cette région, semblables à ceux de M. Gaden, ayant été communiqués au *British Museum*, MM. Bullen-Newton et Bather (2) les décrivirent, confirmant entièrement leur attribution au lutétien. En même temps, dans une note ajoutée en cours d'impression à son travail, le premier de ces savants annonçait qu'on venait de découvrir des ammonites turoniennes dans la province de Bauchi, juste à moitié chemin entre le Damerghou et le Cameroun.

Pendant ce temps arrivait en France une nombreuse collection d'échantillons, recueillis avec le plus grand soin par la mission sous les ordres du commandant Moll (3). De nombreux fossiles lutétiens s'y trouvaient en compagnie de quelques espèces permettant de soupçonner la présence d'un étage plus récent, l'oligocène. Mais surtout, en un point peu éloigné de Tamaské, se trouvaient des blocs ferrugineux, remplis de turritelles d'un type incontestablement miocène. Et cet horizon supportait, par l'intermédiaire d'une couche à végétaux terrestres (parmi lesquels un *Typha* très voisin de *Typha latissima* du miocène suisse), une autre couche marine pétrie de cardites, très semblables à une espèce qu'on recueille dans le miocène tout à fait supérieur du Cotentin.

Ainsi ce n'était pas seulement la mer crétacée qui avait baigné le Damerghou et le Tchad. La mer lutétienne avait fait de même au nord du massif ancien du Zinder et du Dahomey, et, bien

(1) *Beiträge zur Geologie Kameruns*, 1904.
(2) Geol. Mag., 1904; Geographical Journal, nov., 1904.
(3) Voir de Lapparent, Comptes rendus, CXXXIX, p. 1186.

plus tard, un golfe miocène subsistait encore sur ces parages, à plus de 2000 kilomètres du rivage actuel !

Quelles étaient dans le nord les limites du golfe marin ? Le raid audacieux du capitaine Théveniaud nous donne à cet égard quelques lumières. A plus de cent kilomètres au nord du coude que fait le Niger à Tosaye, on recueille des huîtres du crétacé supérieur, et à Mabrouk, à plus de 300 kilomètres au nord de Tombouctou, une roche calcaire contient des cardites qui, selon M. Douvillé (1), rappellent avant tout la *Cardita Beaumonti* du crétacé tout à fait supérieur de l'Égypte et de l'Inde.

Ainsi la mer crétacée inondait largement l'ouest et le centre du Sahara, et la mer tertiaire faisait de même, les traces du lutétien ayant été reconnues à Saint-Louis et en divers points du Sénégal. L'établissement du régime désertique, consécutif de l'émersion du Sahara et du Soudan, est donc de date relativement récente en Afrique. A l'époque tertiaire, il n'y avait d'émergé, au nord de l'Équateur, que le massif ancien du Ouadaï et de l'Abyssinie, d'un côté, et une île comprenant l'Aïr, l'Ahaggar et le Touat, de l'autre. On comprend l'influence que cette pénétration marine pouvait exercer sur le régime des vents, comme sur le climat des contrées méditerranéennes.

Là ne s'arrête pas le bilan des récentes conquêtes de la géologie africaine. Il y a peu d'années, on découvrait, dans l'extrême sud oranais, des couches très fossilifères de l'âge du dévonien supérieur et du calcaire carbonifère de Tournai. Tout dernièrement, MM. Brives et P. Lemoine (2) ont exploré le Maroc occidental, touchant l'Atlas et même l'Anti-Atlas, où ils ont constaté le développement de divers étages fossilifères, entre autres le cénomanien, le crétacé inférieur, le trias gypseux, le carbonifèrien, le dévonien, même le silurien supérieur à orthocères. Le temps est donc proche où l'Afrique, jusque-là si peu connue, aura livré aux géologues ses principaux secrets.

L'explication des contours du massif armoricain. — On sait que, depuis plusieurs années, l'introduction des considérations géologiques dans l'analyse des formes actuelles du sol a imprimé aux études géographiques une précision et une finesse tout à fait remarquables. Un de ceux qui ont appliqué avec le plus de succès ce nouveau mode d'analyse est M. le comman-

(1) Voir de Lapparent, COMPTES RENDUS, CXL, p. 349.
(2) COMPTES RENDUS, CXL, pp. 393 et 395.

dant Barré, dont le livre récent, L'*Architecture du sol de la France* (1), peut passer à bon droit pour un modèle du genre.

Or M. Barré vient de montrer que, si la géologie est d'un grand secours à l'intelligence des formes géographiques, une étude attentive de celles-ci peut, à son tour, suggérer aux géologues des aperçus féconds, qu'ils auront grand profit à approfondir. C'est dans une étude sur *les Origines tectoniques du golfe de Saint Malo* (2) que l'auteur a donné cette démonstration.

Depuis longtemps on a signalé le contraste profond qui existe entre la côte septentrionale de l'Armorique, alignée de l'ouest à l'est, et celle du Cotentin, qui fait avec la première un angle droit, laissant seulement surgir au large le groupe des îles anglo-normandes et des récifs qui les précèdent. Or cette particularité ne trouve pas son explication dans la structure géologique de la région ; car les terrains du Cotentin, comme ceux de la Bretagne, forment des bandes alignées de l'ouest à l'est. De plus, si, comme l'a fait M. Vidal de la Blache (3), on fait entrer en ligne de compte les courbes de niveau du fond de la mer, on voit qu'elles prolongent assez exactement l'allure du relief du Cotentin, de manière à y englober les saillies anglo-normandes, de sorte que la direction de la côte normande, entre le Mont Saint-Michel et La Hagne, n'en devient que plus paradoxale.

Sans doute les courants marins, dont la force est extrême dans ces parages, ont eu une grande part dans cette disposition. Mais, comme le fait voir M. Barré, ils n'ont pu suffire à eux seuls, et tout indique que le terrain leur a été préparé, au cours des temps géologiques tertiaires, par quelque *ennoyage*, qui, à une époque où le sol était un peu plus haut, a dû faire naître, du Mont Saint-Michel à Jersey, une vallée dirigée du nord au sud. On remarque en effet que les plis est-ouest de la région, au lieu d'avoir une crête uniforme, présentent des alternatives de protubérances et d'ensellements, et ces derniers, en s'alignant suivant une direction transversale aux plis, doivent y produire un appel des eaux fluviales. Il en résulte, pendant les périodes d'émersion, un travail d'érosion qui, lors des submersions subséquentes, prépare l'action des courants de marée.

Que le massif armoricain ait traversé des vicissitudes de ce

(1) Un vol. in-8o, avec 189 figures. Paris, Armand Colin.
(2) Annales de Géographie, XIV (1905), p. 83.
(3) Ibid., IV, p. 375.

genre, c'est ce dont il est impossible de douter, d'après la disposition des lambeaux de terrains tertiaires qu'on y observe. Ainsi la mer miocène a certainement pénétré, venant du sud, jusqu'aux environs de Rennes et même jusqu'à Saint-Juvat, sur la Rance. A ce moment, le plateau armoricain penchait au sud et le haut bassin de la Rance devait être tributaire d'un golfe méridional. La mer s'avançait aussi jusqu'au golfe de Carentan, réduisant la pointe occidentale à une condition insulaire. Mais après cela a dû venir une phase d'émersion, pendant laquelle tout le pays, des côtes du nord à la Hague, était soumis à un processus d'érosion, dont la trace se trouve dans les importants dépôts de limon superficiel qu'on observe jusque sur l'île de Jersey. C'est alors que le cours d'eau collecteur, coulant du sud au nord dans l'axe de la dépression comprise entre le Cotentin et un massif dont les îles anglo-normandes représentent le reste, aurait préparé la topographie que les rivages maritimes sont venus ensuite mouler.

Les dépôts tertiaires, d'âge éocène, qu'on observe autour de l'embouchure de la Loire, montrent qu'à cette époque le socle armoricain penchait davantage au sud. Il a dû se relever depuis et aujourd'hui il penche au nord, plus encore qu'il ne faisait durant la période antérieure à la nôtre. Ces mouvements n'ont pas eu besoin d'avoir une amplitude considérable, puisqu'un relèvement de 60 mètres assécherait tout le pays des côtes du nord à la Hague. Mais les changements du niveau de base dont ils ont été accompagnés ont dû modifier l'allure des cours d'eau existants, et déterminer des phénomènes de capture, qui pourraient expliquer, par exemple, les particularités actuelles du cours inférieur de la Rance. En effet, cette rivière, qui autrefois devait se jeter à Châteauneuf dans la baie du Mont Saint-Michel, franchit aujourd'hui l'anticlinal granitique de Saint-Malo, où elle a dû être appelée par une exagération de l'envoyage en ce point.

Cet aperçu doit suffire pour faire apprécier l'importance de ce genre d'études, et laisser entrevoir le champ presque indéfini qui s'ouvre ainsi aux investigations des géographes. S'ils doivent n'avoir plus bientôt de pays nouveaux à découvrir, en revanche, à la condition de se plier aux nouvelles méthodes, il leur reste une foule de problèmes intéressants à élucider.

A. DE LAPPARENT.

HYGIÈNE ET AGRICULTURE

—

Dans notre dernière revue d'*Hygiène et Agriculture* (Revue, juillet 1903) nous signalions les singulières lacunes des règlements de police sur le littoral de la Méditerranée où se rendent, chaque année, des milliers de personnes pour faire une cure d'air pur, de lumière et de chaleur. Depuis lors, nous sommes heureux de le reconnaître, plusieurs desiderata que nous avions formulés ont été remplis, notamment en ce qui concerne la cure d'air marin, dont nous signalions les merveilleux effets dans le traitement des maladies de l'appareil respiratoire et digestif.

La société niçoise de navigation vient de combiner, avec la Compagnie des Tramways de Nice et du Littoral, deux services réguliers qui desserviront journellement Cannes, Nice, Villefranche, Saint-Jean, Beaulieu, Monaco et Menton.

Les billets combinés par ces deux Compagnies donnent droit indifféremment à l'emploi des vapeurs ou des tramways.

D'autre part, une Compagnie hambourgeoise-américaine vient d'organiser aussi un service régulier de paquebot rapide entre Gênes, Monaco, San Remo et Nice, c'est-à-dire le long de *la Riviera*, de sorte qu'on peut aller en Italie par mer en trois heures (Nice, San Remo) et revenir le même jour en chemin de fer, sans se presser et *à bon compte*.

C'est là incontestablement un réel progrès que nous n'espérions pas voir réaliser de sitôt et si complètement.

Par contre, l'inspection des appartements et des denrées alimentaires laisse encore beaucoup à désirer, bien que des efforts louables aient été tentés depuis deux ans, dans certaines localités. Ainsi, à Beaulieu, la Commission d'hygiène a décidé de faire des tournées régulières dans la commune pour signaler les logements et établissements insalubres ; d'autre part elle étudie les moyens propres à réprimer complètement la fraude sur le lait, si préjudiciable aux nombreux malades soumis à la diète lactée.

Quant à la question des eaux alimentaires et d'usage domestique, elle en est toujours au même point. En France, écrivait récemment un grand journal parisien, les règlements sont faits pour être publiés, critiqués et surtout violés. Cette boutade n'est malheureusement pas toujours un paradoxe, surtout en matière d'*hygiène*.

Elle était suggérée par le cri d'alarme poussé par la presse médicale qui signale l'apparition de la fièvre typhoïde dans la capitale et la contamination des eaux de la Dhuys par le fumier des métairies, situées en amont de la rivière qui alimente aujourd'hui les principaux quartiers. Après le choléra de 1866-1867, on avait remarqué que les quartiers alimentés par cette rivière, dont les eaux avaient été captées au loin, étaient épargnés par le fléau. Il faut croire que la surveillance des communes s'est singulièrement relâchée depuis lors, pour donner prise à des critiques aussi graves.

Il est vrai qu'en Belgique l'insouciance, l'incurie ou l'ignorance des cultivateurs engendre trop souvent encore des épidémies locales identiques par l'infiltration des fosses à purin ou des fosses d'aisance, comme nous l'avons signalé notamment dans le Brabant.

Il faut rendre cette justice à la ville de Paris qu'elle a tout fait pour se conformer aux lois de l'hygiène urbaine et prêcher d'exemple aux départements. Après Bruxelles, c'est la capitale de l'Europe où la mortalité est la plus faible, malgré les ravages de la tuberculose et d'autres maladies microbiennes. Plusieurs asiles, qui peuvent être considérés comme des modèles du genre, ont été fondés pour les enfants tuberculeux dans la banlieue depuis vingt-cinq ans. Nous avons déjà entretenu nos lecteurs des résultats inespérés obtenus dans ces établissements desservis pour la plupart par des religieuses et dirigés par des médecins éminents de la capitale.

La presse française appelle particulièrement l'attention sur l'œuvre de la préservation de l'enfance, fondée, il y a un an, par le Dr Granger, qui s'adresse uniquement à l'initiative privée et qui donne le maximum de résultats avec le minimum de dépenses.

" Quand la tuberculose éclate dans une famille d'ouvriers, frappe le père ou la mère, que devient l'enfant ?

„ Lorsque le père ou la mère, malades, travaillent par nécessité, jusqu'au dernier souffle sans vouloir quitter le foyer, que devient l'enfant ? A son tour un tuberculeux ; c'est la victime prochaine.

„ L'Œuvre de Préservation de l'Enfance, dit le Dr Granger, laisse à d'autres le soin des malades, elle soustrait à la contagion sûre, dans une famille atteinte, l'enfant *encore sain* ; elle l'envoie à la campagne dans une famille saine. Elle veut préserver celui

qui, ayant le plus de jeunesse et le plus de santé, a le plus d'avenir Elle est hantée, comme le dit le professeur Granger, de cette idée dominante du livre de Pasteur sur les maladies du ver à soie : *Pour sauver une race menacée par une maladie contagieuse, le mieux est de préserver la graine.*

„ La graine sera bonne, car la tuberculose n'est pas une maladie héréditaire et la preuve en est que sur 18 000 enfants assistés provenant des milieux les plus divers et placés à la campagne par l'Assistance publique, M. Hutinel n'a relevé que quinze phtisiques.

„ L'Œuvre nous donnera un homme sain et fort pour trois cents francs par an — *un homme vigoureux pour un franc par jour.*

„ Un tuberculeux malade coûte tous les jours trois francs à l'Assistance publique.

„ L'enfant sauvé, devenu homme, fondera un jour une famille saine. La graine sera moisson. „

Les parents donnent une cotisation mensuelle (deux à cinq francs par mois) et conservent tous leurs droits sur l'enfant. La séparation prend fin dès que la contagion familiale n'est plus à redouter. Les enfants sont admis à partir de *cinq* jusque *treize* ans. La première enfance est sujette à trop d'autres maladies contagieuses.

“ Les premiers foyers de campagne sont en plein fonctionnement. L'un à Chabris, dans l'Indre, pays de culture variée, à maisons spacieuses et saines, habité par une population aisée qui se nourrit bien et vit âgée. L'autre à Couture, dans le Loir-et-Cher, pays de pâturage semé de nombreux hameaux. Un troisième doit être installé à Avès (Gironde), un quatrième, dans les environs de Morlaix.

„ Les enfants sont placés de préférence dans des familles qui ont des enfants du même âge : l'accoutumance est plus facile. Le médecin du pays visite au jour le jour ses protégés, il les fait peser régulièrement.

„ Les résultats de la première année montrent que les pupilles de l'Œuvre augmentent de poids sans cesse. „

C'est de la bonne hygiène *scientifique, pratique, économique* que nous signalons particulièrement à l'attention de la *Ligue belge pour la protection de l'enfance du premier âge.*

En 1903, Burkchardt constatait à Dresde (1) que sur près de 1500 cadavres autopsiés par lui, 90 pour cent des adultes étaient

(1) *Gesellschaft für Natur- und Heilkunde.*

atteints de phtisie bien que cette maladie n'eût occasionné la mort que dans 41 p. c. des cas. Ces observations confirment la théorie de Behring affirmant que *presque tout le monde*, dans les milieux civilisés, *devient tuberculeux dans sa première enfance*. Seulement les foyers localisés dans certains organes peuvent rester latents et guérir spontanément par une bonne hygiène.

Les produits de consommation provenant du bétail seraient l'origine principale de la tuberculose. C'est donc *le lait* qu'il importe de surveiller tout d'abord, le nourrisson étant particulièrement apte à s'inoculer le microbe par le canal digestif, surtout par les muqueuses de l'intestin, parce que cette muqueuse n'est pas encore protégée, comme chez l'adulte, par un revêtement *épithélial* suffisant.

Chez les tout petits enfants, le bacille reste localisé dans les ganglions à l'état latent ; avant l'âge d'un an, on trouve déjà 25 pour cent d'altérations tuberculeuses en moyenne et 40 pour cent un peu plus tard.

Comme les hygiénistes allemands le font remarquer, cette théorie est très consolante, malgré les apparences, parce qu'elle prouve que la phtisie est souvent évitable quand on a soin de mettre de bonne heure l'organisme en état de défense contre l'efflorescence bacillaire.

C'est pourquoi on en revient toujours à la *pasteurisation* du lait afin de le rendre antiseptique, car on a *presque toujours* rencontré le microbe de la tuberculose dans le lait servant à l'alimentation des villes.

Mais ce n'est là qu'une mesure préventive insuffisante si on ne se préoccupe pas de *fortifier l'organisme* et d'assurer son développement normal par une hygiène rationnelle ; et c'est bien ce qui démontre éloquemment la haute portée sociale d'une œuvre comme celle dont M. le Dr Granger vient de prendre l'initiative.

Pour en revenir aux desiderata que nous avions exprimés en 1903, nous signalerons aussi le danger perpétuel qu'occasionne dans les milieux habités par les tuberculeux la production de la poussière qui diffuse dans l'air les germes contenus dans les crachats desséchés sur le sol.

A ce point de vue, on ne saurait assez protester contre l'autorisation accordée aux automobiles de circuler sur certaines promenades publiques, comme la fameuse promenade des Anglais à Nice. Il s'élève en ce moment surtout sur le littoral de la

Méditerranée (Riviera) un *tolle* général contre la tolérance excessive des municipalités qui ne songent qu'à attirer les capitaux, au détriment de la masse des étrangers et des malades qui croient venir respirer un air pur et salubre à la Côte d'Azur.

Cependant, les journalistes qui se font l'écho de ces réclamations ne voient guère que les incommodités et non le danger inéluctable résultant de cette pulvérisation continue. On voudrait découvrir un moyen d'inoculer aux passants sans qu'ils s'en aperçoivent le germe du terrible microbe qu'on ne trouverait pas mieux que cette infernale machine aux mains des jouisseurs insouciants de la santé publique, trop souvent même de la vie des promeneurs ou des passants.

Dans son numéro du 11 janvier dernier, le journal Le Petit Niçois signale ouvertement l'incurie de l'administration communale à cet égard et réclame l'interdiction complète de la circulation des automobiles sur la promenade des Anglais. Cet article, écrit en fort bons termes, ne signale malheureusement pas plus que d'autres le plus grand inconvénient de cette tolérance, c'est-à-dire le danger permanent de la contagion par la dispersion des germes dans l'atmosphère. Mais il constate que la patience des gens paisibles est à bout et que dans ce pays très sec, où les rues dégagent au moindre frottement des poussières calcaires, les arrosages ne suffisent pas, même quand ils sont fréquemment pratiqués, ce qui n'est pas le cas.

Si nos lecteurs veulent bien se reporter à l'article que nous publiions, il y a deux ans, dans ces colonnes, ils pourront constater que nous avons nettement formulé alors ce desideratum alors que la presse locale n'osait pas encore l'appuyer (1). Il a

(1) Nous avions même adressé notre réclamation motivée à l'un des principaux journaux du cru, l'Éclaireur (14 février 1903). Depuis lors, ce journal emboîte le pas au Petit Niçois et constate qu'on ne peut rien obtenir par la persuasion (15 janvier 1905).

" On s'est d'abord adressé au simple bon sens des chauffeurs, et des amis charitables ont pris sur eux de faire entendre raison à ces forcenés.

„ On a fait appel à leur courtoisie, et, dans des notes répétées, la presse a été unanime à faire remarquer ce que leur conduite a d'inconvenant en l'occurrence.

„ On a enfin parlé d'appliquer les règlements. Il est vrai qu'on n'en a que parlé seulement. Car si d'un côté des procès-verbaux ont été dressés, nous savons d'autre part que nombre de contraventions ont été rapportées par la Mairie.

„ N'importe, la menace aurait pu produire son effet. Or, tout cela a été vain. „

fallu que la situation devînt vraiment intolérable pour qu'elle se décidât enfin à attacher le grelot. Espérons que les édiles ne feront pas plus longtemps la sourde oreille, tant dans l'intérêt de leurs administrés que dans celui des visiteurs étrangers qui finiront par abandonner la place aux chauffeurs et aux *automobile-clubs*. Nous ne craignons pas d'étendre ce vœu à nos grandes villes, tout au moins pour certaines promenades que les piétons redoutent de fréquenter, depuis quelque temps déjà, de peur d'être écrasés ou incommodés par la poussière et les mauvaises odeurs.

Ce n'est pas seulement sur leur cours supérieur que les rivières qui alimentent les cités d'eau potable sont polluées ou infectées, mais à leur source même, ainsi qu'on l'a constaté en Belgique comme en France. Souvent les paysans déposent dans les cavernes ou dans les anfractuosités des rochers, des charognes ou des matières excrémentielles qui contaminent les eaux les plus pures en apparence. Ce fait est particulièrement fréquent dans le Midi de la France, dans les Alpes et le Jura.

Il en résulte trop souvent des épidémies, dont la cause était insoupçonnée jusqu'ici et que l'on ne parviendra à supprimer qu'en créant une *bonne police rurale*. Voilà plus de vingt ans que nous n'avons cessé de réclamer en Belgique cette institution si nécessaire au double point de vue de la protection des propriétés et de la vie des citoyens. Mais, il faut bien le reconnaître, on s'est borné jusqu'ici à nommer des commissions, les parlements n'ayant généralement pas le temps de trancher ces importantes questions. Cependant les intérêts des campagnes sont ici intimement subordonnés à ceux des grandes villes et des centres industriels. C'est là une *protection agricole* qui ne peut porter aucun ombrage à nos économistes partisans " du laisser faire et du laisser passer „ (1).

Toutes les mesures que l'on a prises jusqu'ici en Belgique pour la protection des oiseaux insectivores sont restées inopérantes

(1) La question de la *police rurale* a été soulevée à la *Société centrale d'agriculture* de Belgique dans le courant de l'année dernière.

M. le sénateur Comte Hemricourt de Grunne ne voit qu'un moyen d'aboutir : c'est l'augmentation de la gendarmerie dont les attributions sont trop restreintes. Nous partageons entièrement cette manière de voir. L'*autonomie communale* n'en souffrira pas davantage que des mesures prises par le service de l'hygiène dans l'intérêt de la santé publique. Toutes les autres solutions ne sont que des demi-mesures (voir nos précédentes chroniques agricoles).

à cause de l'insuffisance de la police rurale. Il n'en est plus de même en France, où l'on a fini par interdire la chasse au filet qui détruit tant de petits oiseaux (1).

Nous avons vu l'année passée des millions de pinsons, de verdiers et autres passereaux vendus publiquement sur nos marchés et chez les marchands de volaille sans que la police y trouvât rien à redire. *C'est la loi.* Pourquoi tout au moins ne pas réduire la dimension des filets et le temps de la chasse ? On finira par dépeupler complètement nos campagnes de ces précieux auxiliaires qui entravent providentiellement la multiplication des insectes et des graines parasites. C'est ce qui était arrivé notamment dans certains départements français où l'on détruisait jusqu'aux hirondelles, comme en Italie. Aussi la mesure radicale que l'on a prise se justifie absolument.

Si notre police rurale laisse encore plus à désirer sous certains rapports que celle de nos voisins du Midi, il n'en est pas de même de la police sanitaire.

L'inspection vétérinaire en Belgique est, quoi qu'on ait dit, très supérieure à celle de la France où les services relèvent surtout de l'initiative des départements.

Cependant la question de l'inspection des viandes est aussi importante au point de vue de la santé publique que celle du lait ; chaque année, des milliers de personnes succombent ou sont mises en danger de mort par l'ingestion de viandes contaminées ou trop avancées dans lesquelles les chimistes constatent la présence de *toxines*. Ce dernier cas est surtout fréquent dans le Midi où l'altération des viandes est beaucoup plus rapide. Heureusement l'empirisme conjure en partie le péril ; en effet, les méridionaux préfèrent les viandes bouillies aux viandes saignantes et rôties et sont beaucoup plus *végétariens* que les peuples du Nord, ce qui les préserve de beaucoup de maladies ou d'accidents. L'usage de l'*ail*, tant décrié, constitue aussi un excellent procédé antiseptique, comme l'ont établi de récentes observations des bactériologistes.

On remarque que les viandes contaminées par les *tænias*, particulièrement par le tænia du *bœuf* (*t. inermis*) sont plus com-

(1) Dans le courant du dernier semestre 1904, le JOURNAL DE L'AGRICULTURE DE FRANCE se plaisait à constater les bons résultats déjà obtenus par la mesure prise par M. Mougeot, ministre de l'Agriculture, ce qui n'empêche qu'on continue à vendre encore sur les marchés plusieurs espèces d'oiseaux utiles.

mines dans le Midi, sur le littoral de la Méditerranée. En Algérie surtout, beaucoup de colons et de soldats sont tourmentés par ces redoutables parasites et, dans l'armée des Indes, 50 p. c. des viandes offertes à l'intendance des armées britanniques sont rejetées de la consommation, uniquement, paraît-il, à cause de l'infection du *tænia inermis*.

Dans le pays de Charleroi, nos souffleurs de verre, habitués à se nourrir de viandes à moitié crues (beefsteack), sont particulièrement sujets à contracter ce parasite dont on se débarrasse le mieux par l'*extrait éthéré de fougère mâle*, accompagné d'une purgation énergique.

Signalons en terminant la création prochaine de la *Ligue des femmes françaises contre la tuberculose* sur la Côte d'Azur, due à l'initiative des colonies indigènes et étrangères sur la Riviera. Cette ligue essentiellement féministe, dans le meilleur sens du mot, a pour but de compléter par de nouveaux modes d'action les bienfaits de ces fondations humanitaires dans les grands centres ou dans leurs environs.

La ligue va établir à la campagne de vastes baraquements où les phtisiques *pauvres* passeront la journée entière dans un air pur et recevront une alimentation substantielle et réconfortante. Ainsi cette cure hygiénique au soleil du Midi ne sera plus le privilège presque exclusif des classes riches. D'autre part, on vient d'inaugurer à l'hôpital Beaujon une clinique spéciale pour tuberculeux des deux sexes, sous la direction du Dr Robin qui a pris l'initiative de cette fondation marquant une étape nouvelle dans la lutte contre la tuberculose, car on ne peut malheureusement pas envoyer tous les phtisiques dans des sanatoriums. L'innovation consistera surtout dans les inhalations *injections de sérum* et distribution gratuite de *vêtements et d'aliments*. Ici encore le bon grain est semé par des savants secondés par des philanthropes éclairés, comme M. Jacques Siegfried, président du comité de secours.

A. P.

ETHNOGRAPHIE

—

La collection des antiquités danoises au Musée national de Copenhague. — Nous nous proposons de faire connaître, dans ce rapide aperçu, les richesses archéologiques abritées par le Musée national de Copenhague. Les touristes, qui désirent le visiter en simples curieux, trouveront les jours et les heures d'ouverture indiqués dans les journaux. Les travailleurs rencontreront auprès des savants danois qui dirigent l'établissement le plus charmant accueil : il leur sera loisible d'étudier au Musée à toute heure qui leur convienne.

Disons d'abord un mot des célèbres *Kjökkenmöddinger*. Cette dénomination, mal choisie, est depuis longtemps abandonnée par les auteurs danois qui appellent ces restes *Affaldsdynger*, amas de détritus.

L'un des principaux du pays, celui d'Ertebölle, a été exploré avec un soin minutieux et une précision rigoureuse. On peut s'en faire une idée exacte, car la vitrine n° 2 de la première salle nous en présente une coupe, sous la forme d'un pilier carré *(skalpille)* de six pieds de hauteur environ. Cette coupe, faite au milieu de l'amas et allant de la surface jusqu'au fond, est parfaitement visible sur ses quatre faces. C'est un entassement d'écailles, étroitement serrées les unes contre les autres ; les écailles d'huîtres sont les plus nombreuses ; on y voit aussi des valves de cardium, quelques écailles de moules et quelques coquilles de limaçons. Ce sont des restes de repas. On remarque également quelques os d'oiseaux et de poissons. Çà et là nous distinguons des os, qui ont été fendus pour en extraire la moelle, des rognons de silex et des débris de poterie.

L'examen de cette coupe permet de se rendre parfaitement compte de la manière dont les amas de détritus se sont formés et, du même coup, nous révèle les coutumes des premiers habitants du Danemark, qui appartiennent à la première période des temps néolithiques, partagés par les archéologues danois en deux périodes. L'entassement est formé d'écailles et d'ossements : nous en déduisons que les néolithiques préparaient et prenaient leurs repas sur ce tas, qui s'élevait graduellement, car on trouve des foyers, formés de pierres, à différents niveaux ; ils y abandonnaient aussi des fragments de leur poterie, les déchets de la taille du silex, les débris de leurs outils en corne ou en

pierre ; il n'est pas rare de rencontrer des instruments parfaitement conservés.

Le Musée de Copenhague possède une collection abondante et variée de haches en silex. Nous avons cru longtemps que les savants danois avaient réussi à établir une classification dans laquelle les diverses formes de haches venaient se ranger ; nous avons dû renoncer à cette idée. Il est vrai qu'ils ont étudié les haches avec le soin minutieux qu'ils apportent à toutes leurs recherches, mais nous devons avouer que, s'ils partagent les haches en plusieurs catégories, c'est en se plaçant à des points de vue différents ; leurs distinctions toutefois sont plus nettes que celles de tous les autres archéologues qui ont observé les variétés de la taille et de la forme des haches.

En considérant le sommet de la hache, on distingue les haches à sommet plus ou moins effilé *(spidsnakkede Öxer)* ; elles sont destinées à s'emmancher dans le trou arrondi d'une gaine en corne de cerf. Dans une deuxième classe, on range les haches à sommet plus large ; ce sommet est tantôt assez épais *(tyknakkede Öxer)*, tantôt plus aplati *(tyndnakkede Öxer)*.

En considérant les bords latéraux, qui peuvent être anguleux ou équarris, on distingue les haches à deux, à trois ou à quatre faces.

Parmi les haches à deux faces, la face antérieure et la face postérieure peuvent être également bombées ou également plates ; si les deux faces sont identiques, l'instrument sert d'outil et d'arme et est généralement emmanché : le tranchant de la hache est parallèle à la direction du manche en bois. Nous ne connaissons pas de terme propre pour désigner les haches de cette espèce que les Allemands appellent *Gradbeile* et les Danois *Retöxer*. Quand les deux faces sont dissemblables, quand l'une est bombée et l'autre plate, ou quand le tranchant n'est formé que d'un seul côté dans les haches plates, la hache prend le nom d'herminette ; ces haches servaient à travailler le bois et on les maniait le plus souvent à la main. Quand elles sont emmanchées, le tranchant est perpendiculaire au manche : c'est pour ce motif que les Allemands les appellent *Querbeile* et les Danois *Tværöxer*.

Les archéologues danois distinguent encore les haches : 1° par rapport au tranchant : il peut être droit ou convexe ; la hache peut s'élargir notablement au tranchant *(bredeggede Öxer)* ; 2° par rapport au volume : elles peuvent être minces ou épaisses, légères ou lourdes ; 3° enfin d'après le degré d'achèvement et de polissage.

Dans la vitrine 76 nous remarquons la plus grande et la plus belle hache polie du Danemark ; elle a été recueillie dans un marais près de Jegstrup, au canton de Viborg ; c'est une hache à sommet large et aplati, qui mesure environ cinquante centimètres de longueur.

Nous avons déjà signalé les deux périodes que les archéologues danois reconnaissent dans le néolithique ; les haches à sommet effilé ou pointu appartiennent à la période des amas de détritus ; dans les dolmens postérieurs à cette période on trouve la hache à sommet large et épais ; on place dans une période de transition la hache à sommet élargi et aplati.

Ce qui doit exciter vivement la curiosité de tous les visiteurs, c'est la superbe collection de lances en silex, qui affectent une forme et ont des dimensions qu'on ne rencontre dans aucun autre pays. Elles sont si longues — elles mesurent parfois jusqu'à quarante-cinq centimètres — et si finement taillées qu'on dirait des piques en métal.

La pointe de lance est une mince feuille de beau silex brun, délicatement retouchée sur les deux faces, qui s'élargit vers le point d'emmanchement et possède sur les bords un tranchant dans toute sa longueur. Ce double tranchant se termine par des échancrures qui permettent de lier cette arme élégante à un manche en bois.

Les pointes de flèches du Musée présentent les formes de tous les échantillons connus. En les comparant à celles que nous avons recueillies en Belgique, nous avons remarqué un type qui paraît propre au Danemark : c'est une pointe de flèche à section triangulaire, à trois faces égales, finement retouchées.

Une nouvelle vitrine, qui contient des antiquités préhistoriques dont les plus anciennes datent aussi de l'âge de la pierre, attire vivement notre attention ; c'est la vitrine 305 qui contient la série des fragments de poterie, portant des empreintes de graines de céréales. C'est M. Sarauw, le sympathique aide-conservateur du Musée national, qui, le premier, a réuni et étudié ces fragments. Il prépare un grand ouvrage sur la matière qu'il a étudiée dans plusieurs musées de la Scandinavie et d'autres pays de l'Europe. Tous les fragments de poterie de cette vitrine portent des empreintes, parfaitement visibles, de nombreuses cavités formées par des grains de froment et d'orge ; ces grains ont été incrustés dans la pâte même de la poterie, quand celle-ci a été fabriquée. Les peuples préhistoriques se livraient donc à la culture des céréales ; et ces incrustations si intéressantes

projettent une lumière nouvelle sur le développement de cette culture, dont on avait déjà la preuve dans la présence des meules dormantes dans les dolmens et les palafittes, et dans la découverte de petits dépôts de grains dans certains gisements.

On célèbre parfois la richesse du bel âge du bronze en Suisse ; il nous semble que nulle part l'âge du bronze ne s'est épanoui comme en Danemark ; il a une souveraine importance en ce pays, parce qu'il nous a livré un document qu'on ne rencontre dans aucune autre partie du monde. Il ne nous a pas seulement transmis sur ses épées, ses vases et ses objets de parure, les motifs d'ornementation de l'époque mycénienne, il nous a légué en outre un souvenir unique : les vêtements portés par les hommes de l'âge du bronze.

On a modelé des figures de grandeur naturelle, que l'on a revêtues du costume porté à l'âge du bronze et pourvues d'armes et de parures en bronze. Cette reconstitution cause une impression étrange et ineffaçable ; on ne peut se lasser de la contempler et d'étudier en détail toutes les preuves d'authenticité de cette merveilleuse découverte.

Une armoire contient les habits qui ont été recueillis dans les cercueils. L'étoffe est assez épaisse ; elle est tissée en laine d'un brun foncé ; l'analyse chimique et microscopique a prouvé que la laine provient de moutons bruns ou noirs ; la laine blanche n'a été utilisée que pour les ceintures et les coiffures ; on a pu constater également que l'étoffe a été teinte, mais on n'a pu identifier la substance employée. A la laine, on a mêlé aussi quelques poils de cerf.

Dans le Jutland, on a trouvé cinq costumes masculins complets; on peut parfaitement en juger par la reconstitution que l'on a sous les yeux et par les études que les archéologues danois en ont faites.

L'homme porte sur la tête un bonnet qui a la forme peu gracieuse d'une demi-sphère dont l'étoffe a été doublée. Il se compose de deux parties cousues ensemble, la calotte du sommet et le pourtour; les côtés sont faits d'une pièce d'étoffe carrée, fixée à la partie supérieure : la face extérieure de ce bonnet est couverte d'un revêtement de fils, qui se terminent par un ou deux nœuds.

La tunique est faite d'une pièce d'étoffe carrée ; elle couvre la poitrine et descend jusqu'aux genoux. En haut on remarque deux pans auxquels on attachait probablement des lanières de cuir

qui passaient par dessus les épaules. Une ceinture d'étoffe, fermée avec un bouton de bronze, serre la tunique autour du tronc.

Un manteau de forme ovale, long d'un mètre, recouvre les épaules ; il est assez large pour pouvoir s'agrafer par devant à l'aide de plusieurs épingles en bronze.

Les pieds sont couverts de morceaux d'étoffe et de souliers en cuir, dont on n'a recueilli toutefois que des vestiges.

L'homme tient le bois de sa lance de la main droite ; du côté gauche, une épée en bronze, avec fourreau en bois, est suspendue à la ceinture : ce sont les armes trouvées dans les sépultures.

On n'a découvert qu'un seul costume féminin, entièrement conservé. Une coiffe de réseau, artistement travaillée, enveloppe les cheveux de la femme. Elle porte une jaquette faite d'une seule pièce d'étoffe ; la couture se voit sur le dos et dans les manches, qui viennent jusqu'aux coudes ; l'avant-bras est orné de bracelets ; l'ouverture pour le cou est formée par une coupure.

La robe est aussi longue que la pièce d'étoffe est large ; elle est cousue de gros fils de laine, mesure environ $1^{m},15$ et pend jusqu'aux pieds. On ne sait si la robe entourait le bord inférieur de la jaquette ou si la jaquette pendait librement au-dessus de la robe. Celle-ci est maintenue autour du corps par une ceinture en étoffe, qui se termine par des houppes, finement travaillées ; une belle plaque de bronze est attachée à cette ceinture.

La femme porte un poignard en bronze à la ceinture et un beau collier autour du cou ; ce collier est formé d'une plaque de bronze recourbée, plus large au milieu, et décorée d'ornements en spirale.

Ces vêtements, ces armes et ces ornements ont été recueillis avec des squelettes dans d'immenses cercueils en bois de chêne ; on peut en voir des spécimens au Musée. Ce sont de gros troncs de chêne dont les extrémités ont été taillées à section droite, à coups de hache ; ils ont été fendus en deux et creusés dans le sens de la longueur. Dans un de ces cercueils, on voit le squelette couché dans la moitié inférieure du tronc ; on distingue encore les cheveux et les sourcils ; il repose sur une peau de vache avec les habits, les armes et les ornements que nous venons de décrire. La moitié supérieure du tronc sert de couvercle à ce cercueil, qui provient du fameux tumulus de *Borum Æshoï*, près de Aarhus. On peut voir au Musée une coupe de ce tertre qui renfermait deux cercueils d'hommes et un cercueil de femme, avec les vêtements de l'âge du bronze.

Nous avons pu étudier en détail une belle collection d'épées en bronze. Le Musée en possède plus de huit cents ; on peut voir comment la forme de la poignée et de la lame, et les motifs de décoration de ces belles armes se sont modifiés pendant la durée de l'âge du bronze. Cette riche collection constitue une nouvelle preuve de la splendeur de cet âge en Danemark.

D'autres merveilles mériteraient une longue description ; tels sont les vases en or et les vingt et une trompettes en bronze, dont la plus longue mesure $2^{m},38$.

Ces instruments, appelés *Lurer*, sont si parfaitement conservés que, l'an dernier, on les a utilisés dans un concert à Copenhague. Le tube se compose de plusieurs pièces, jointes par des anneaux ou des chevilles ; à ces joints on voit de petits anneaux pour attacher une bandoulière ou suspendre des chaînes en bronze. Près de l'embouchure on remarque des plaques de métal à résonnance, décorées de dessins qui appartiennent à la seconde période de l'âge du bronze. Autour du pavillon s'étale une plaque bosselée et ornée aussi de dessins. On trouve toujours les *Lurer*, deux à deux, et leurs tubes sont recourbés en sens opposé, de façon à ressembler à deux cornes de bœuf.

M Sophus Müller, le savant directeur du Musée national, conçoit la chronologie de l'âge du bronze autrement que M. Montelius ; il ne distingue pas autant de périodes que l'archéologue suédois, qui en reconnaît jusqu'à dix. L'âge du bronze a débuté dans le Nord avant l'an mille avant J.-C. pour durer jusque vers l'an 500 avant notre ère ; d'après le style des ornements, la manière d'ensevelir les morts et les relations commerciales avec les pays du Midi, M. Müller divise l'âge du bronze en deux périodes et dans chaque période il distingue deux sections différentes. C'est cet essai chronologique qui a inspiré le groupement des antiquités au Musée national.

J. Claerhout.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE

—

International Catalogue of scientific literature, published for the international Council by the Royal Society of London. Série de volumes in-8° destinée à paraître chaque année ; en vente chez Gauthier-Villars, Paris.

Ce Répertoire international est publié par une commission internationale, sous la direction du Dr H. Forster Morley, au moyen des souscriptions reçues par les États du monde entier.

La *première année* comprend 17 volumes en 21 fascicules, chaque fascicule se vendant séparément. On y trouve, par ordre alphabétique des auteurs, puis par ordre méthodique des matières, les titres de tous les mémoires publiés au cours de l'année 1901, dans les Recueils scientifiques existants.

Voici les indications relatives à l'objet et au prix de chaque fascicule :

A.	Mathématiques fr.	18,75	K.	Paléontologie. fr.	13,10
B.	Mécanique . . .	13,10	L.	Biologie générale .	13,10
C.	Physique I . . .	26,25	M.	Botanique I . . .	26,25
	„ II. . .	18,75		„ II . .	22,50
D.	Chimie I	26,25	N.	Zoologie	47,00
	„ II. . . .	22,50	O.	Anatomie humaine	13.10
E.	Astronomie . . .	26,25	P.	Anthropologie physique	13,10
F.	Météorologie . .	18,75	Q.	Physiologie I . .	26,25
G.	Minéralogie . . .	18,75		„ II . .	22,50
H.	Géologie	18,75	R.	Bactériologie . .	26.25
J.	Géographie . . .	18,75			

La collection complète se vend 450 francs.

La *deuxième année*, se rapportant aux mémoires parus en 1902, est en cours de publication. Les volumes suivants ont paru :

A.	Mathématiques .	18,75	K.	Paléontologie . .	13,10
B.	Mécanique . . .	13,10	L.	Biologie générale.	13,10
C.	Physique . . .	30,00	O.	Anatomie humaine	18,75
E.	Astronomie. . .	26,25	P.	Anthropologie physique	18,75
G.	Minéralogie. . .	20,65	R.	Bactériologie . .	26,25
H.	Géologie . . .	20,65			
J.	Géographie. . .	20,65			

Abhandlungen zur Geschichte der Mathematischen Wissenschaften mit Einschluss ihrer Anwendungen. Begründet von **Moritz Cantor**. Achtzehntes Heft. Un vol. grand in-8° de 196 pages, avec 34 figures dans le texte. — Leipzig, B. G. Teubner.

Ce fascicule contient les travaux suivants : **J. L. Heiberg**, Mathematisches zu Aristoteles (3-49). — **Conrad, H. Müller**, Studien zur Geschichte der Mathematik insbesondere des mathematischen Unterrichts an der Universität Göttingen im 18. Jahrhundert, mit einer Einteilung über Charakter und Umfang historischer Forschung in der Mathematik (52-143). — **Rich. Lindt**, Das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten, seine Beweise und die Unmöglichkeit seiner Umkehrung bei Verwendung des Begriffes " Gleichgewicht eines Massensystems „ (145-196).

N. J. Lobatschefskijs. — Imaginäre Geometrie und Anwendung der Imaginären Geometrie auf einige Integrale, aus dem russischen übersetzt und mit Anmerkungen herausgegeben von **Heinrich Liebmann**. Un vol. grand in-8° de 188 pages, avec 30 figures dans le texte. — Leipzig, B. G. Teubner, 1904.

Publié dans la même collection : Abhandlungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften, XIX. Heft.

R. Baltin und **W. Maiwald**. — Sammlung von Aufgaben aus der Arithmetik, Trigonometrie und Stereometrie mit zahlreichen Anwendungen aus der Planimetrie und Physik, für Seminare und Präparandenanstalten. Unter Zugrundelegung der Müller-Kutnewskyschen Ausgaben-Sammlung, Teil I., nach den preussischen Lehrplänen von 1901. Erster Teil, für die erste Klasse der Präparandenanstalten. Zweite verbesserte Auflage. Un vol. in-8° de 109 pages. — Leipzig, Teubner, 1904.

Recueil très soigné d'exercices et de problèmes élémentaires : Calcul arithmétique et calcul algébrique des quantités entières et fractionnaires. Rapports et proportions. Équations et problèmes du premier degré.

G. Darboux. — Étude sur le Développement des Méthodes géométriques, lue le 24 septembre 1904 au Congrès des Sciences et des Arts à Saint-Louis. Brochure grand in-8° de 34 pages. — Paris, Gauthier-Villars.

Dans cette Étude M. Darboux analyse les progrès que la Géométrie a faits au cours du siècle qui vient de finir. Après

avoir jeté un coup d'œil rapide sur l'état des Sciences mathématiques au commencement du XIXe siècle, il rappelle comment la Géométrie moderne est venue contribuer dans une large mesure au renouvellement de la Science mathématique tout entière, en offrant aux recherches une voie nouvelle et féconde, et surtout en montrant, par des succès éclatants, que les méthodes générales ne sont pas tout dans la Science et que, même dans le sujet le plus simple, il y a beaucoup à faire pour un esprit ingénieux et inventif. Puis, dans des pages pleines d'intérêt, il passe en revue les travaux des plus illustres géomètres.

Abel Souchon. — La Construction des Cadrans solaires, ses principes, sa pratique, précédée d'une histoire de la gnomonique. Brochure in-8° de VIII-52 pages, avec 2 planches. — Paris, Gauthier-Villars, 1905.

Cet opuscule résume de façon intéressante, en une vingtaine de pages, l'histoire de la Gnomonique et expose avec beaucoup de simplicité et de clarté, pour être accessible à ceux qui ne possèdent que les premiers éléments de la Géométrie, les principes qui servent de base à la construction des cadrans solaires et les préceptes qui se rapportent à la pratique de la gnomonique graphique.

G. Dewalque. — Catalogue des Météorites conservées dans les collections belges (Extrait des Annales de la Société géologique de Belgique). Une brochure in-8° de 7 pages. — Liége, H. Vaillant, 1905.

Ce catalogue, dont les éléments ont été recueillis de première main, comprend deux parties: *Météorites pierreuses*, 27 numéros, et *Fers météoriques*, 15 numéros. Pour chaque échantillon, on donne sa provenance et le Musée qui le possède.

F. Auerbach. — La Dominatrice du monde et son ombre, conférence sur l'énergie et l'entropie. Édition française publiée avec l'assentiment de l'auteur par le Dr **E. Robert-Tissot**, avec Préface de **Ch.-Ed. Guillaume**. Un vol. in-16 de XV-86 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1905.

Exposé rapide, appuyé sur des exemples familiers et sous une forme accessible à tous, des principes de la conservation et de l'évolution de l'énergie. Voici le résumé de la table des matières de ce très intéressant opuscule:

Avant-propos. — Préface. — Loi de la conservation de l'éner-

gie. L'énergie dominatrice du monde. — Loi de la conservation de la matière. La quantité de la matière est immuable, mais ses qualités sont variables. — Le travail. — Les réserves de travail. L'énergie et ses formes diverses. Mesure du travail. — Énergie actuelle. Énergie potentielle. — Les transformations de l'énergie. Équivalent mécanique de la chaleur. — Les phénomènes naturels sont des transformations de l'énergie. — Le changement est le caractère commun à tous les phénomènes naturels. — Les phénomènes naturels tendent au nivellement. — Dispersion de l'énergie. Intensité et *extensité*. Réversibilité imparfaite. Usure. — L'entropie est le degré de dispersion de l'énergie. — Conséquences de l'entropie. — Remarques. Bibliographie.

R. de Forcrand. — Cours de Chimie à l'usage des étudiants du P. C. N. Deux volumes in-8°, se vendant séparément. Tome I : *Généralités. Chimie minérale;* VI-325 pages avec 16 figures. Tome II : *Chimie organique. Chimie analytique;* 317 pages avec 19 figures. — Paris, Gauthier-Villars, 1905.

Manuel excellent, exclusivement scientifique, s'adressant à tout étudiant qui, possédant déjà les connaissances élémentaires, désire pousser plus avant. Ceux qui se préparent aux études universitaires, ainsi que les élèves des écoles d'Agriculture, de Commerce, etc. y trouveront d'utiles enseignements.

J. Hervier. — Excursions botaniques de M. Élisée Reverchon dans le massif de La Sagra et a Velez-Rubio (Espagne). Un vol. gr. in-8° de 100 pages, avec deux planches hors texte (Extrait du Bulletin de l'Académie internationale de Géographie botanique). — Le Mans, Institut de Bibliographie, 1905.

L'auteur rappelle le centre annuel des excursions de M. Reverchon : il cite les meilleures plantes qu'il a publiées, fait suivre les plus intéressantes de notes et d'observations, et donne les diagnoses et descriptions des plantes nouvelles et rares.

José d'Ascensão Guimarães. — Monographia das Orobanchaceas portuguezas. Un vol. grand in-8° de 208 pages, avec figures dans le texte et XIV planches en phototypie. — Lisbonne, 1904.

Excellent mémoire de botanique systématique, morphologique et physiologique, édité avec luxe et extrait du Recueil Broteria, t. III, 1904, auquel le célèbre botaniste portugais Félix de Avellar Brotero (1744-1828) a donné son nom.

Cl. Roux et A. Collet. — Description géologique de la nouvelle voie ferrée de Lozanne a Givors. Une brochure grand in-8° de 39 pages, avec 2 coupes et une carte. — Lyon, A. Rey, 1905.

Description des terrains traversés d'un bout à l'autre de la nouvelle ligne de Lozanne à Givors, dont la longueur totale est de 39 kilomètres environ. Les auteurs insistent seulement sur les roches les plus remarquables ; ils rapprochent ces roches et les comparent à leurs congénères des environs immédiats (Plateau et Monts Lyonnais). Plusieurs variétés sont intéressantes et même nouvelles pour la région lyonnaise.

Granderye. — Détermination des espèces minérales *(Encyclopédie des Aide-Mémoire)*. Un volume petit in-8° de 184 pages. — Paris, Gauthier-Villars et Masson.

Le but de cet ouvrage est de faciliter les recherches et de déterminer rapidement les minéraux. Il contient sous une forme réduite et décrit en quelques lignes une grande quantité d'espèces minérales qui ont été groupées d'après leurs propriétés organoleptiques, physiques, mécaniques et chimiques.

Martignat. — Le Liège, ses produits et ses sous-produits *(Encyclopédie des Aide-Mémoire)*. Un volume petit in-8° de 158 pages. — Paris, Gauthier-Villars et Masson.

Exposé de la technique de la culture du chêne-liège, en vue d'obtenir le rendement maximum par les soins donnés soit à l'arbre lui-même, soit au sol où il se développe. Applications industrielles du liège : la fabrication des bouchons, la production des agglomérés, la réduction des débris en poudre et leur utilisation dans les linoléums.

J. Dugast — L'Industrie oléicole. Fabrication de l'huile d'olive *(Encyclopédie des Aide-Mémoire)*. Un vol. petit in-8° avec 20 figures dans le texte. — Paris, Gauthier-Villars et Masson.

Guide excellent pour les oléiculteurs. Il indique, sous une forme claire et concise, les meilleurs procédés de fabrication de l'huile d'olive. Les négociants le consulteront avec fruit et les consommateurs eux-mêmes y trouveront quelque profit.

P.-Th. Muller — Lois fondamentales de l'Électrochimie *(Encyclopédie des Aide-Mémoire)*. Un vol. petit in-8°. — Paris, Gauthier-Villars et Masson.

Aperçu succinct mais précis des données fondamentales de l'Électrochimie actuelle. On passe successivement en revue l'électrolyse, le transport des ions, la conductibilité, l'origine des forces électromotrices. Les faits et les lois qui doivent former le bagage scientifique indispensable de l'Électrochimie sont exposés aussi simplement que possible.

U. Masoni. — L'Énergie hydraulique et les récepteurs hydrauliques. Un vol. grand in-8° de IV-320 pages, avec 207 figures. — Paris, Gauthier-Villars, 1905.

Cet ouvrage fait partie de l'*Encyclopédie industrielle* fondée par M. M.-C. Lechalas. Il forme une partie très importante d'un cours d'Hydraulique appliquée où sont magistralement traitées les principales questions concernant l'énergie mécanique des courants d'eau et les récepteurs qui servent à l'utilisation des forces motrices hydrauliques : roues hydrauliques, turbines, machines à colonne d'eau, récepteurs-opérateurs, béliers et éjecteurs.

Exposition internationale du petit outillage. Gand, juillet 1904. *Rapports* publiés sous la direction de **O. Pyfferoen**, commissaire général de l'Exposition. Un vol. grand in-8° de 339 pages avec figures et planches. — Gand, Van Goethem, 1904.

Sommaire : I. Rapport du commissaire général, par O. Pyfferoen. — II. L'outillage des métiers de bois, par Th. Verloove. — III. L'outillage des bouchers et charcutiers, par F. Casier. — IV. L'outillage de la boulangerie, par J. Hubeau. — V. Les petits moteurs, par Vlaemminck. — VI. L'outillage des métiers du fer, par Fornier.

Annales del Museo Nacional de Montevideo. Sección histórico-filosófica. Tomo I. *Geografía física y esférica de las Provincias del Paraguay, y misiones Guaraníes.* Compuesta por don **Felix de Azara**, capitán de Navío de la Real Armada. En La Asuncion del Paraguay. Año de MDCCXC. Un vol. in-4° de CXXXII-478 pages. — Montevideo, 1904.

Publication d'un manuscrit de la Bibliothèque nationale de Montevideo, avec notes biographiques et bibliographiques, prologue et annotations de R. R. Schuller. On y trouve des récits de voyages, avec cartes et plans, reproduits ici par la photographie, et intéressant à la fois la géographie, l'ethnographie, les sciences naturelles et l'histoire des missions.

Gaston Sortais. — Précis de Philosophie scientifique et de Philosophie morale, conforme au dernier programme des classes de Mathématiques A et B. Un vol. in-8° de XVI-603 pages. — Paris, P. Lethielleux.

Manuel destiné aux élèves du baccalauréat et composé en vue de les préparer à la dissertation qui fait partie de l'épreuve écrite de l'examen de la classe des mathématiques. L'auteur a sacrifié la forme littéraire à l'énoncé clair et précis des idées, et à leur ordonnance méthodique. Chaque affirmation abstraite est accompagnée d'un exemple concret. Chaque question est divisée en paragraphes, et chaque paragraphe important est disposé de façon à former un plan de dissertation. Parmi les questions traitées avec plus d'ampleur, nous citerons : la philosophie des sciences, les méthodes des sciences mathématiques et des sciences physiques, les grandes hypothèses scientifiques, les divers systèmes de morale, le déterminisme, le collectivisme, les fonctions de l'État, etc. De nombreuses références bibliographiques complètent partout l'exposé.

Frants Buhl. — La Société israélite d'après l'Ancien Testament, traduit de l'allemand par **Bertrand de Cintré.** Un vol. petit in-8° de 220 pages. — Paris, P. Lethielleux.

Manuel " d'Institutions ", qui résume en un petit volume les conclusions de la science actuelle. Des notes substantielles du traducteur complètent le texte là où il avait besoin d'être éclairci à l'usage des lecteurs moins familiarisés avec les lectures bibliques.

Annuaire astronomique (**pour 1906**) de l'Observatoire royal de Belgique, publié par les soins de **G. Lecointe**, directeur scientifique du service astronomique. Un vol. in-8° de VI-388 pages, avec figures dans le texte et six planches. — Bruxelles, Hayez. 1905.

Ce volume a été conçu d'après un plan identique à celui de l'année précédente. Sa publication anticipée plaira à tous ceux qui empruntent à cet excellent recueil les éléments d'autres annuaires, de calendriers ou d'agendas. On y trouve les données les plus intéressantes et les plus pratiques relatives à l'astronomie et à la physique du globe, et un grand nombre de renseignements nécessaires à certaines administrations publiques, au pouvoir judiciaire, etc. Le volume se termine par une notice de M. Stroobant intitulée : *Les marées. Exposé élémentaire.*

NÉCROLOGIE

F. FOLIE

(1833-1905)

La Société scientifique de Bruxelles, si cruellement frappée depuis quelques années, a fait une nouvelle perte bien sensible en la personne de François-Jacques-Philippe Folie, géomètre et astronome, né à Venloo le 11 décembre 1833, mort à Liége, après une courte maladie, le 29 janvier 1905.

Voici, avec quelques notes, un aperçu de sa carrière scientifique emprunté aux Astronomische Nachrichten (N° 4003, t. 167, mars 1905) et dû à la plume de notre confrère, M. C. Le Paige, professeur d'Astronomie à l'Université de Liége.

„ Docteur en sciences physiques et mathématiques le 13 août 1855, Folie se rendit à Bonn où il s'initia, sous la direction de l'illustre Argelander, à la pratique des observations astronomiques. Il se lia d'amitié, à l'Observatoire de Bonn, avec Schönfeld et Krueger. Rentré en Belgique, il fut nommé répétiteur à l'École des Mines de Liége le 30 octobre 1857 et conserva ces fonctions jusqu'en 1868. De 1872 à 1884, il remplit les fonctions importantes d'Administrateur-Inspecteur de l'Université de Liége et, en cette qualité, il rendit d'éminents services, peut-être trop oubliés, à l'enseignement supérieur, profondément modifié par la loi de 1876. Il se dévoua entièrement à l'érection et à l'outillage des laboratoires rendus nécessaires par l'application de cette loi et contribua à doter l'Université de Liége, à l'exemple des grandes universités allemandes, d'un observatoire astronomique dont il fut le premier directeur (1881-1893).

„ Jusqu'à cette époque, son activité scientifique s'était spécialement portée sur la géométrie et la mécanique (1) et sur la

(1) Parmi ses travaux mathématiques, il faut citer sa théorie nouvelle du mouvement d'un corps solide (Bulletin de l'Académie de Belgique, 1865, 1867) où il s'est rencontré avec Poncelet ; ses *Fondements d'une*

diffusion de la théorie mécanique de la chaleur. Par ses traductions, il rendit accessibles au public savant de langue française les immortels travaux de Clausius (1).

„ Nommé en 1883, lors de la démission de J. C. Houzeau, directeur de l'Observatoire de Bruxelles, il présida à l'érection du nouvel Observatoire d'Uccle. Depuis 1881, revenu aux travaux qu'il avait commencés à Bonn, il consacra tout son temps à l'étude du problème de la rotation de la Terre et à l'établissement des formules qui, dans sa conception du problème, devaient servir à la réduction des positions observées des étoiles. Ses premières recherches sur ce sujet sont contenues dans divers mémoires publiés par l'Académie royale de Belgique, dont il faisait partie depuis 1869 (*Théorie des mouvements diurne, annuel et séculaire de l'axe du monde*. t. XLIV et t. XLVII) et l'application qu'il fit de ses théories aux formules de réduction dans sa *Revision des constantes de l'astronomie* (Ann. de l'Obs. royal de Belgique, nouv. série, t. VI).

„ Les lecteurs des Astronomische Nachrichten peuvent voir l'exposé sommaire de ses recherches dans les n°s 2607, 2948 et spécialement dans le n° 2975 où elles ont été l'objet d'un examen critique de la part de M. Lehmann-Filhés.

„ Jusqu'à ces derniers jours, Folie consacra tout son temps à la poursuite de ses travaux, cherchant la preuve de ses théories dans la réduction de séries nombreuses d'observations. La simple énumération de ses recherches publiées dans les Bulletins de l'Académie royale de Belgique, dans l'Annuaire de l'Observatoire de Bruxelles, dans les Monthly Notices, etc., remplirait plusieurs colonnes des Astr. Nachr. Sa dernière étude, publiée quelques jours avant sa mort, est consacrée aux déviations apparentes d'un pendule libre de se mouvoir dans le

géométrie supérieure cartésienne (Mémoires de l'Académie de Belgique, 1872, t. XXXIX), où l'on trouve certaines idées nouvelles qui, d'après ce que nous a dit Clebsch, sont vraisemblablement destinées à un développement ultérieur. — On doit à Folie la publication du *Cours de mécanique appliquée de Brasseur* (1868), et celle du Cours de *Calcul des probabilités de Mayer* (1874), ouvrage remarquable au point de vue analytique, le seul où l'on trouve exposé les travaux de Bienaymé sur la théorie des erreurs. Folie s'est aussi beaucoup occupé de climatologie (P. M.).

(1) Folie a publié une notice sur *R. Clausius, sa vie et ses travaux*, dans la Revue des Questions scientifiques, 1889, t. XXVII, p. 419, puis dans les Annales (1900 à 1904) quelques notices relatives à ses recherches de prédilection en astronomie (P. M.).

premier vertical, observations dont il tirait une confirmation nouvelle de son idée sur la constitution de la Terre formée, dans sa pensée, d'un noyau et d'une écorce solides séparés par une couche plastique qui permet de regarder les deux parties comme indépendantes, au moins dans certaines limites.

„ S'il est trop tôt encore pour examiner la part de vérité dans les recherches de Folie, recherches dont il a donné lui-même une analyse dans les vol. XX-XXII des Mém. de l'Acad. Pont. des Nuovi Lincei, on ne peut que rendre hommage à la persévérance avec laquelle il s'est attaché à défendre ses idées, à la profonde connaissance qu'il a montrée de tous les travaux astronomiques.

„ Ses amis, et ils étaient nombreux en Belgique et à l'étranger, conserveront un souvenir ému du savant, de l'homme de cœur qui vient de disparaître ; ils se rappelleront toujours la simplicité de sa vie, sa bonté, son dévouement absolu à ce qu'il croyait devoir conduire au bien de son pays ou au triomphe de la vérité (1). „

(1) Folie était officier de l'ordre de Léopold depuis le 24 mars 1881 ; il avait été élu correspondant de l'Académie royale de Belgique, le 15 décembre 1869, membre le 16 décembre 1874, directeur de la classe des sciences en 1892 ; il était membre de la Société scientifique de Bruxelles depuis 1891. On trouvera une liste complète des ouvrages, mémoires et notes de Folie jusqu'en 1896, dans les *Notices biographiques et bibliographiques* de l'Académie royale de Belgique, 4e édition (Bruxelles, Hayez, 1897), pp. 216-229. Les écrits ultérieurs ont été cités plus haut ou ont paru dans les Bulletins de l'Académie royale de Belgique ou dans l'Annuaire de l'Observatoire de Bruxelles (P. M.).

TABLE DES MATIÈRES

DU

SEPTIEME VOLUME (TROISIÈME SÉRIE)

TOME LVII DE LA COLLECTION

LIVRAISON DE JANVIER 1905

—

Le Feu central, par **M. F. Kaisin.** 5

Les Sourdes-Aveugles, par **M. G. Lechalas** 21

Les Décharges Électriques dans les gaz, par le **R. P. V. Schaffers, S. J.** 52

Les origines de la Statique (suite), par **M. P. Duhem.** 96

Le peuple japonais, par **M. Th. Gollier** 150

Le tunnel du Simplon, par **M. G. de Fooz** 188

Variétés. — I. *Un nouveau livre sur la Balistique intérieure,* par **M. le capitaine commandant Ch. Beaujean** 242

II. *Les Culuas ou Croisiers de l'Amérique précolombienne,* par **M. E. Beauvois** . . . 252

Bibliographie. — I. Théories des Groupes finis. Éléments de la théorie des Groupes abstraits, par J. A. de Séguier, **M. O.** 258

II. Introduction à la Géométrie générale, par G. Lechalas, **P. Mansion** 260

III. Der geometrische Vorkursus in schulgemässer Darstellung, mit reichem Aufgabenmaterial nebst Resultaten zum Gebrauche an allen Lehranstalten, bearbeitet von E. Wienecke, **J. N.** 263

IV. Traité de Perspective linéaire, par O. Lambot, **B. L.** 264

V. Abaque des Amortissements, par J. Schul, S.J., **B. L.** 265

VI. Physikalisches Praktikum für Anfänger, dargestellt in 25 Arbeiten, von Dr Pfeiffer, **J. N.** 266

VII. Experimentelle Elektrizitätslehre, mit besonderer Berücksichtigung der neueren Anschauungen und Ergebnisse, dargestellt von Dr Hermann Starke, **V. S.** 267
VIII. Mathematische Einführung in die Elektronentheorie, von Dr A. H. Bucherer, **V. S.** ; Einführung in die Maxwellsche Theorie der Elektrizität, mit einem einleitenden Abschnitte über das Rechnen mit Vektorgrösen in der Physik, von Dr A. Föppl, **V. S.** 269
IX. Résistance, Inductance et Capacité, par J. Rodet, **V. S.** 271
X. Notices sur l'Électricité, par A. Cornu, **V. S.** . 272
XI. Lois fondamentales de l'Électrochimie, par P.-Th. Muller, **V. S.** 272
XII. Leçons sur la Navigation aérienne, par L. Marchis, **J. T.** 273
XIII. Essai sur l'Esprit musical, par Lionel Dauriac, **G. Lechalas** 274
XIV. La Peinture, par Jules Breton, **G. Lechalas** . 276
XV. Stéréoscopie et Projection visuelle, par H. Parinaud, **G. Lechalas** 279
XVI. Traité des Essais des Matériaux destinés à la Construction des Machines. Méthodes, machines instruments de mesure, par A. Martens, **N. S.** 283
XVII. Der Anbau der Faserpflanzen, besonders der Baumwolle in der Kolonien, par le Dr F. Schultz, **E. D. W.** 286
XVIII. The Timbers of Commerce and their Identification, par H. Stone, **É. D. W.** 286
XIX. De Teelt van Bacoven voor export, par le Dr C. J. J. van Hall, **É. D. W.** 287
XX. Psychologie. La Science de l'Ame dans ses rapports avec l'Anatomie, la Physiologie et l'Hypnotisme, par le P. A. Castelein, S. J., **Xavier Francotte** 288
XXI. Hippolyte Taine, par Lucien Roure, **X.** 292

Revue des recueils périodiques.
Sylviculture, par **C. de Kirwan** 293
Physique. L'Enquête sur les Rayons N, par **V. Schaffers, S. J.** 317
Botanique industrielle et commerciale, par **É. D. W.** 327
Ethnographie, par **J. Claerhout**. 342
Bulletin bibliographique 346
Nécrologie : P. Tannery et A. Arcelin. 352

LIVRAISON D'AVRIL 1905

—

Adrien Arcelin, par **M. C. de Kirwan** 353
Les progrès de l'Artillerie depuis l'invention des canons rayés, par **M. le capitaine commandant Beaujean** 358
Le Sixième Sens, par **M. J.-J. Van Biervliet**. . . . 384
Les Systèmes Stellaires, par le **R. P. J. Thirion, S. J.** 410
Les origines de la Statique (suite), par **M. P. Duhem.** 462
L'Épuration des Eaux résiduaires, par **M. le Dr Ach. Haibe** . . . , ... 525
Notice sur les travaux de Paul Tannery, par le **R. P. H. Bosmans, S. J** 544
Les Missions catholiques et les Langues indigènes, par le **R. P. P. Peeters, S. J**. 575
Bibliographie. — I. Collection de monographies sur la Théorie des Fonctions, publiée sous la direction de M. Émile Borel : Leçons sur les Fonctions de variables réelles et les Développements en Séries de polynomes, professées par Émile Borel, rédigées par Maurice Fléchet, avec des notes par Paul Painlevé et Henri Lebesgue. — Leçons sur les Fonctions discontinues, professées par René Baire, rédigées par A. Denjoy. — Le Calcul des Résidus et ses applications à la Théorie des Fonctions, par Ernst Lindelöf, **M. O.** 616
II. Le Calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques, par Maurice d'Ocagne, **Edgard Jacobs** 622
III. Geschichte der Elementar Mathematik in systematischer Darstellung, von Dr Johannes Tropfke, **H. Bosmans, S. J.**. 626
IV. Traité théorique et pratique d'Électricité, par H. Pécheux, **A. Witz** 631
V. La Bobine d'Induction, par Armagnat, **J. T.** . 632
VI. Neue Beiträge zur Frage des mathematischen und physikalischen Unterrichts an den höheren Schulen, gesammelt und herausgegeben von F. Klein und E. Riecke, **V. S.** . 634

VII. L'Éther, principe universel des forces, par A. Marx, **J. T.** 636
VIII. The Study of Chemical Composition, by Ida Freund, **J. T.** 640
IX. Manuel pratique de l'Éclairage au gaz acétylène, par R. Robine, **J. T.** 647
X. Sylloge Algarum omnium hucusque cognitarum digessit Dr J.-B. De Toni, **É. D. W.** . . . 648
XI. Muscinées de la France, seconde partie : Hépatiques, par M. l'abbé Boulay, **C. de Kirwan.** 648
XII. Les Jeux des Enfants, étude sur l'imagination créatrice chez l'enfant, par Frédér. Queyrat, **G. Lechalas** 650
XIII. Allgemeine und spezielle Wirtschaftgeographie, par Ern. Friedrich, **É. D. W.** . . . 653
XIV. Le Vice solitaire, par le Dr Surbled, **C. de Kirwan**. 654
XV. Institutiones Metaphysicae specialis, quas tradebat P. Stanisl. De Backer, S. J., t. III, Psychologia, de Vita rationali, **E. R.** . . . 655
XVI. Apologie scientifique de la Foi chrétienne, par Mgr Duilhé de Saint-Projet, nouvelle édition par M. l'abbé J.-B. Sanderens, **C. de Kirwan.** 658

Revue des recueils périodiques.
Géologie, par **A. de Lapparent** 666
Hygiène et Agriculture, par **A. P.** 677
Ethnographie, par **J. Claerhout**. 685

Bulletin bibliographique 691
Nécrologie : F. Folie. 698

Louvain — Imp. Polleunis & Ceuterick, 60, rue Vital Decoster, 60

-35170

AMNH LIBRARY
100226258